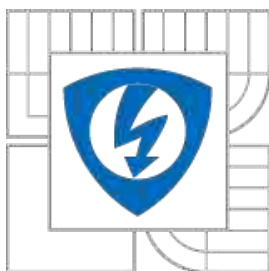




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

TESTER OPERAČNÍCH ZESILOVAČŮ TYPU 1458

OPERATING AMPLIFIER TESTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

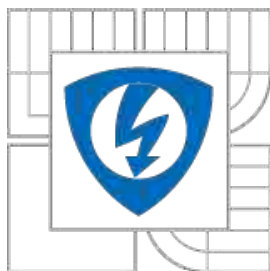
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN ZÁPECA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ VÁVRA

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Jan Zápeca
Ročník: 3

ID: 106890
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Tester operačních zesilovačů typu 1458

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete funkční koncept testeru operačních zesilovačů typu 1458. Tester musí detekovat poruchu operačního zesilovače ve dvou stupních - chyba zesílení a chyba nadproudů. Tester musí jednoznačně určit, zda je testovaný integrovaný obvod vadný.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 3.6.2010

Vedoucí práce: Ing. Jiří Vávra
Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Radimír Vrba, Csc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jan Zápeca
Bytem: Karolíny Světlé 490/34, Zlín 76001
Narozen/a (datum a místo): 24.12.1985, Zlín
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován
jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Tester operačních zesilovačů typu 1458
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Vávra
Ústav: Ústav mikroelektroniky
Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 27. 5. 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt

Bakalářská práce se snaží vhodnými prostředky popsat vývoj zařízení určeného k testování OZ typu 1458. Vývoj je spojen s teoretickou přípravou potřebnou k budoucí aplikaci získaných poznatků. Tyto poznatky jsou dále prezentovány v podobě vhodně zvolených metod měření a výběrem součástek plnících požadovanou funkci. Dochází ke spojování jednotlivých celků a vytváření koncepce budoucího testeru OZ 1458. Z koncepce testeru v podobě logicky spojených bloků dochází k tvorbě elektrického schématu a k plynulému přechodu z teoretické části práce k praktickému uplatňování poznatků. Tester je konstruován jako digitální zařízení. Hlavním řídicím členem se stává mikrokontrolér. Program mikrokontroléru přesně definuje výslednou funkci zařízení. Práce v poslední části popisuje výrobu testeru. Závěr je věnován shrnutí poznatků a výsledků bakalářské práce. Výstupem se stává funkční zařízení detekující poruchu operačního zesilovače ve dvou stupních - chybu zesílení a chybu nadproudů. Tester jednoznačně určuje, zda je testovaný integrovaný obvod OZ 1458 vadný.

Klíčová slova

OZ 1458, tester, měření malých stejnosměrných proudů, řízený zdroj napětí, signálová zpětná vazba, neinvertující zesilovač, mikroprocesor

Abstract

The bachelor's thesis tries to describe the evolution of the device designated for testing of the operational amplifier 1458. The evolution is associated with theoretical preparation useful for future application of obtained knowledge. This knowledge is presented by measuring methods which are suitably chosen and by choice of parts. Consequently, particular complexes join together and the conception of future operational amplifier 1458 tester is created. The conception of tester in logically connected blocs form leads to creation of electrical scheme and also to smooth transition from theoretical part to practical application of knowledge. The tester is designed as a digital device. The microcontroller becomes the principal control component. The microcontroller defines accurately the final function of device. The last part of bachelor's thesis describes the tester manufacturing. The conclusion represents the summary of knowledge and results of bachelor's thesis. Functional device, which is the result of bachelor's thesis, detects the operational amplifier defect in 2 levels - the gain fault and the defect of overcurrents. The tester identifies explicitly whether tested operational amplifier 1458 is defective.

Keywords

Operational amplifiers 1458, tester, measuring of low direct currents, ADC, closed loop, noninverting amplifier, microcontroller.

Bibliografická citace dle ČSN ISO 690

ZÁPECA, J. *Tester operačních zesilovačů typu 1458*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. XY s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Vávra.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Tester operačních zesilovačů typu 1458“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Vávrovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc. Za cenné rady při zpracování mé bakalářské práce a za silnou podporu ve chvílích beznaděje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Obsah

1 .Úvod.....	1
2 .Operační zesilovač typu 1458.....	2
3 .Řízený zdroj napětí.....	7
3.1 .Připojení MAX 548A ke sběrnici SPI.....	10
4 .Měření stejnosměrných proudů.....	13
4.1 .Převodník s Hallovým senzorem.....	13
4.2 .Odporový převodník I-U.....	19
5 .Metoda testování operačního zesilovače 1458.....	25
5.1 .Detekce nadměrného proudu :.....	25
5.2 .Detekce poruchy zesílení.....	27
6 .Návrh zapojení testeru OZ typu 1458.....	33
6.1 .Proudový omezovač.....	37
6.2 .Releový spínač.....	39
6.3 .Volba mikrokontroléru.....	40
7 .Konstrukční zapojení testeru OZ typu 1458.....	42
7.1 .Programování PIC16F887 přes ICSP.....	43
8 .Programové vybavení testeru OZ typu 1458.....	44
9 . Výroba testeru OZ typu 1458.....	46
10 .Závěr.....	50
11 .Seznam použité literatury.....	51
12 .Seznam použitých zkratk a symbolů.....	53
13 .Seznam příloh.....	54

1 . Úvod

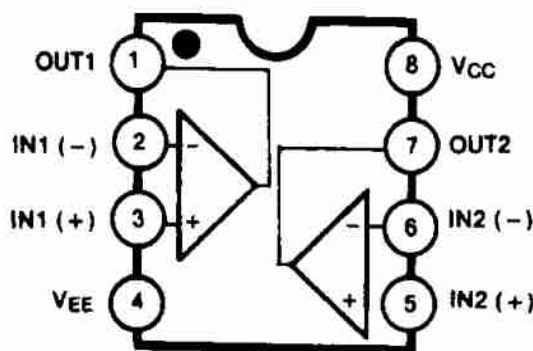
Při studiu na VUT oboru Mikroelektronika jsou ve 3. semestru bakalářského studia studenti seznámeni s předmětem BAEY (Analogové elektronické obvody). Předmět se z velké části zabývá v laboratorním cvičení zapojením operačních zesilovačů v různých aplikacích. Hlavní součástí je OZ 1458. V roce 2009 proběhla modernizace laboratorní výuky BAEY. Jako důkaz studenstké iniciativy je vytvořena tato bakalářská práce. Výstupem práce by měl být přípravek použitelný ve výuce.

Časově náročným problémem bývá určit, je-li předkládaný OZ 1458 funkční. Tester operačních zesilovačů 1458 v této práci je navržen a zkonstruován s ohledem na jednoduchost a zvýšení efektivity výuky.

Tester operačních zesilovačů 1458 je vytvořen jako digitální zařízení, jehož úkolem je detekce poruchy operačního zesilovače 1458 ve dvou stupních – chyba zesílení a chyba nadměrných proudů. Tester musí jednoznačně určit, zda-li je testovaný OZ 1458 vadný. Zapojení je navrženo pro vnější napájecí napětí 10 V. Mikrokontrolér se stává hlavní součástí ovládající průběh testu a vyhodnocení. Před samotnou konstrukcí a výrobou však stojí řada otázek, jejichž odpovědi ovlivňují výslednou podobu a funkci zařízení. Jakým způsobem měřit malé stejnosměrné proudy a jaké hodnoty těchto proudů je možno očekávat u funkční testované součástky ? Jakým způsobem testovat zesílení a na základě jakých hodnot se rozhodnout je-li testovaná součástka funkční ? Než je možné na takovéto otázky odpovědět, je nutné testovanou součástku blíže poznat a pochopit.

2 . Operační zesilovač typu 1458

V pouzdře operačního zesilovače typu 1458 se nacházejí dva operační zesilovače typu μA 741. Oba zesilovače typu μA 741 mají společné pouzdro, čip a napájení. Vstupy i výstupy obou čipů jsou řešeny zvlášť. Nejrozšířenější realizace zapouzdrazení je v pouzdru DIP 8, viz obr.č.: 2.1. Propojení čipu a pouzdra je u všech výrobců vyrábějící operační zesilovač typu 1458 stejné.



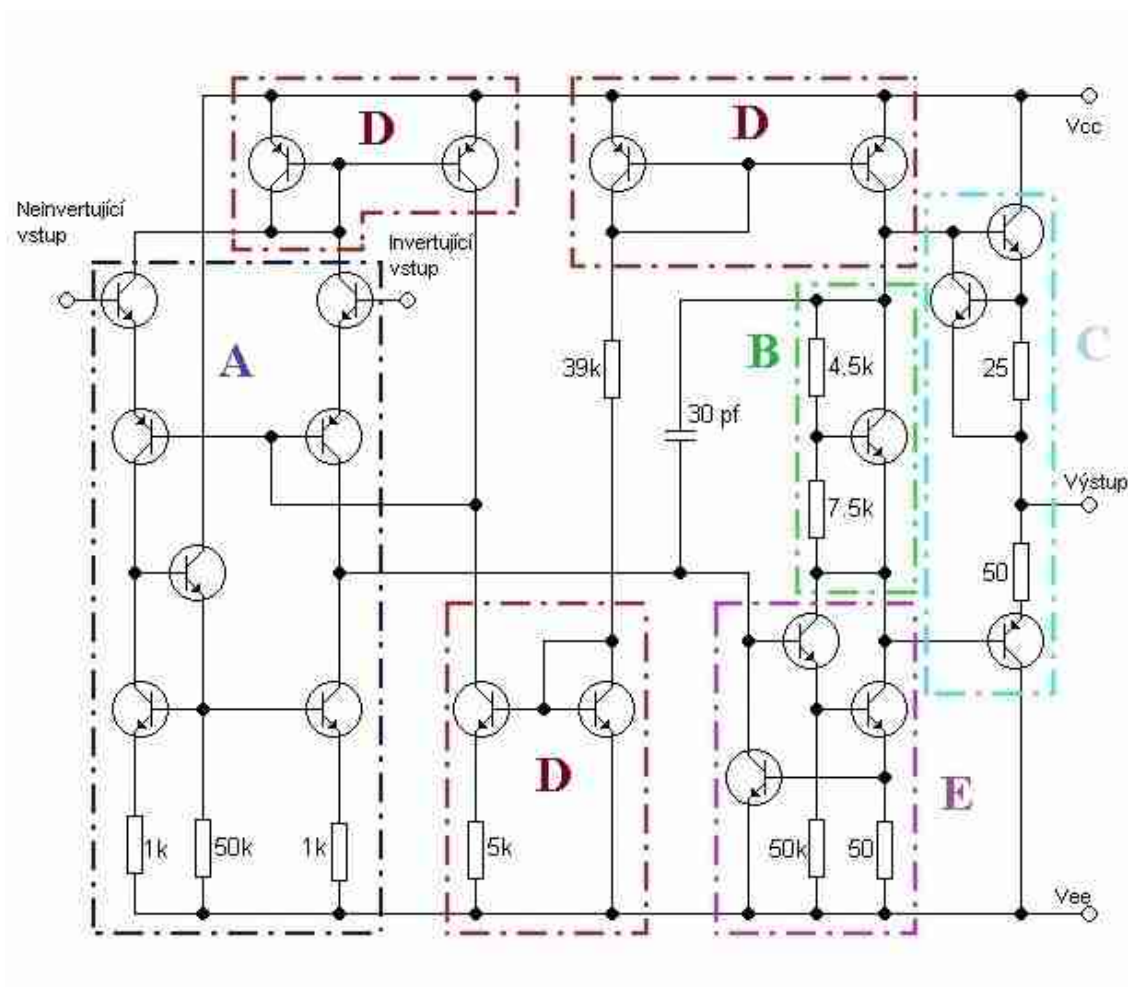
Obr.č.: 2.1 Pouzdro DIP 8 operačního zesilovače 1458 [1]

Popis vývodů operačního zesilovače OZ 1458 [1] :

1	OUT1	Výstup z operačního zesilovače č. 1
2	IN1(-)	Invertující vstup operačního zesilovače č. 1
3	IN1(+)	Neinvertující vstup operačního zesilovače č. 1
4	V _{EE}	Záporné napájení pouzdra operačního zesilovače 1458
5	IN2(-)	Invertující vstup operačního zesilovače č. 2
6	IN2(+)	Neinvertující vstup operačního zesilovače č. 2
7	OUT2	Výstup z operačního zesilovače č. 2
8	V _{CC}	Kladné napájení pouzdra operačního zesilovače 1458

Samotný zesilovač μA 741 je nástupcem zcela prvního integrovaného operačního zesilovače μA 709. Oba za svůj vznik vděčí společnosti Fairchild Semiconductor. Tyto součástky vznikaly na počátku 60.let 20.století. Do dnešní doby se μA 741 stal samozřejmostí a v mnoha ohledech je překonán a považován za historii . V duální podobě jej stále vyrábí společnosti Texas Instruments, On semiconductor, Fairchild Semiconductor, Samsung Electronic, National Semiconductor a Motorola. Viz [2, 3, 4, 5, 6].

Zapojení operačního zesilovače μA 741 odpovídající struktuře v PSpice, viz obr.č.: 2.2, se skládá z několika funkčních bloků typických pro operační zesilovače :



Obr.č.: 2.2 Schéma μA 741[7]

- Vstupní diferenciální zesilovač (A) je charakteristický velkým zesílením rozdílu vstupních signálů a nízkým zesílením souhlasných signálů přivedených současně na oba vstupy. Oba vstupy jsou tvořeny bázevými vstupy tranzistorů. Vstupní proudy do operačního zesilovače budou v podstatě nulové, řádově desítky – nA. Dalším rysem je velká vstupní impedance v řádu $M\Omega$.
- Napěťové přizpůsobení (B).
- Výstupní zesilovač (C) – realizován emitorovým sledovačem, jehož napěťové zesílení je skoro 1. Odděluje zátěž od předchozích stupňů, zajišťuje nízkou výstupní impedanci v řádu desítek Ω .

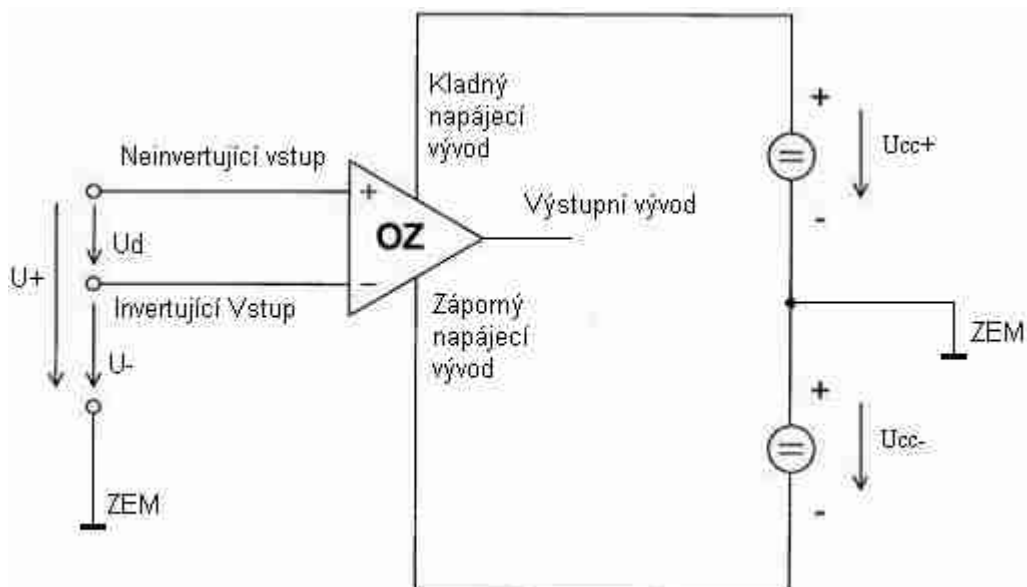
- Proudová zrcadla (D) – slouží pro nastavení pracovních proudů v celém obvodu. Proudové zrcadlo je zdroj proudu řízený proudem. Slouží také jako aktivní zátěž.
- Zesilovač třídy A (E) - zesilovač třídy A je zapojen jednočinně, tzn. jedna větev zpracovává obě poloviny průchozího signálu. Zesilovač má nastaven pracovní bod, což způsobuje neustálý odběr energie. Využitím Darlingtonova zapojení je zajištěno velké zesílení.

Funkce operačního zesilovače spočívá v zesílení diferenčního napětí U_D , přivedeného ze vstupů, na výstup $U_{výstupní}$:

$$U_{výstupní} = A \cdot U_D = A \cdot (U_+ - U_-) \quad [\text{V}] \quad (1)$$

Operační zesilovač se značí v literatuře zkratkou OZ. Schématická značka a základní zapojení viz obr.č.: 2.3.

Skutečné zesílení operačního zesilovače 1458 uvedené výrobcem Texas Instruments [2], označené zkratkou A_{VD} (Large-Signal differential voltage amplification) = 200 V/mV. Tento zápis lze převést a získat hodnotu $A_{VD} = 200000 = 106 \text{ dB}$. Pro zesílení $A_{VD} = 0 \text{ dB}$ je šířka pásma $BW = 1 \text{ Mhz}$. Vstupní odpor $R_I = 2 \text{ M}\Omega$. Výstupní odpor $R_O = 75 \Omega$. Napájecí napětí $U_{CC+} = (5-18 \text{ V})$, $U_{CC-} = - (5-18) \text{ V}$. [8]



Obr.č.: 2.3 Zapojení operačního zesilovače

Další důležité parametry OZ 1458 [8] :

Statické parametry :

- Vstupní napěťová nesymetrie U_{IO} - napětí, které je nutno přivést na vstupy operačního zesilovače, aby na výstupu $U_{výstupní} = 0$ V. Tranzistory vstupního diferenčního zesilovače není možné vyrobit se stejnými parametry. Tento rozdíl parametrů vede k důvodu vzniku napěťové nesymetrie. Výrobce Texas Instruments uvádí hodnotu $U_{IO} = 1$ mV.
- Vstupní klidový proud I_{IB} - do bází tranzistorů vtéká bázevý proud $I_{IB} = 80$ nA.
- Vstupní proudová nesymetrie I_{IO} - vzniká ze stejného důvodu jako nesymetrie napěťová $I_{IB} = 20$ nA.
- $CMRR$ - Potlačení součtového signálu. Zesílení ideálního OZ je dáno pouze rozdílem napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem. Ve skutečnosti však nelze nikdy zcela vyloučit vliv potenciálu obou vstupů vůči zemi. $CMRR = 90$ dB.

Nelineární a dynamické parametry :

- Mezní hodnota vstupního diferenčního napětí $U_{VID} = \pm 30$ V
- Mezní hodnota vstupního souhlasného napětí $U_{ICR} = \pm 13$ V
- Rozkmit výstupního napětí $U_{OM} = \pm 13$ V
- Maximální výstupní proud (pro obě pouzdra) $I_{OSMAX} = \pm 40$ mA

Důležitá dynamická omezení :

- Rychlost přeběhu SR (Slew rate) - maximální možná rychlost změny výstupního napětí na rychlou změnu vstupního skokového napětí.
 $SR = 0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$.
- Spektrální hustota šumového napětí $U_N = 45 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

3 . Řízený zdroj napětí

Řízený zdroj napětí je využit v této úloze pro nastavení vstupního napětí na neinvertujících svorkách OZ 1458. Pro tester je potřeba 2 nezávislých řízených zdrojů napětí. Zdroj napětí musí umožnit řízení mikrokontrolérem.

Požadavky na řízený zdroj napětí :

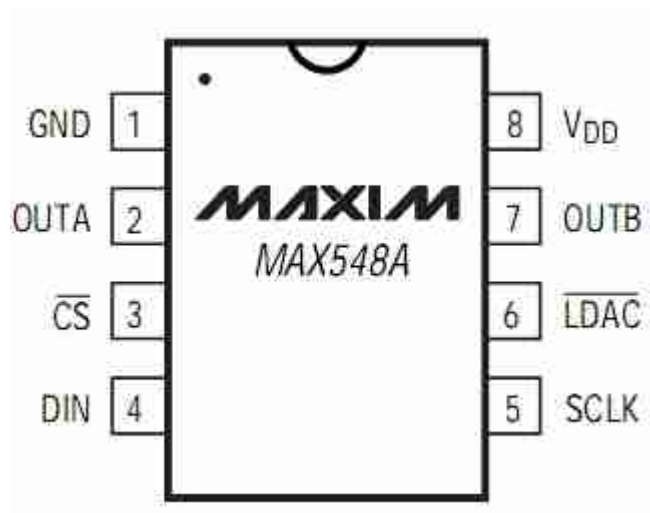
- Napájení $U_{DD} = 5V$
- Rozsah řízeného napětí $U_{OUT} = 0V - U_{DD}$
- Možnost řízení mikrokontrolérem přes I²C nebo SPI
- Digitální rozlišení 8-bit (stejně jako rozlišení AD převodníku mikroprocesoru z důvodu hladinové kompatibility)
- Implementace více řízených zdrojů v jednom pouzdře z důvodu úspory místa

Součástka vyhovující požadavkům se nazývá MAX 548A [10] od společnosti Maxim. Lze ji zařadit do kategorie DA konvertorů. Jde o monolitickou součástku obsahující dva 8-bitové DAC výstupy. Napájení součástky je $U_{DD} = (2,5 - 5) V$. Součástku lze ovládat přes rozhraní SPI/QSPI a Microwire standart. Vstup i DAC převodníky lze aktualizovat individuálně nebo sériově. Obsahuje vlastní referenci U_{REF} , ta je připojena interně k napájecímu napětí. Platí $U_{REF} = U_{DD}$. Proudová spotřeba $I_{DD} = 330 \mu A$. Výstupní napětí lze regulovat lineárně v hodnotách $GND - U_{DD}$. DAC převodník využívá architekturu R-2R sítě. Součástka je dostupná v pouzdře μ MAX nebo DIP. [10]

Další důležité parametry součátky [10] :

Diferenční linearita	$DNL = \pm 0,9 \text{ LSB}$
Celková výstupní chyba	$TUE^* = \pm 0,9 \text{ LSB}$
Chyba nuly	$ZCE = \pm 1 \text{ LSB}$
Chyba rozsahu	$FSE = \pm 1 \text{ LSB}$
Výstupní odpor DAC	$R_{OUT} = 33,3 \text{ k}\Omega$
Výstupní proud	$I_{OMAX} = \pm 50 \text{ mA}$
Rychlost přeběhu výstupu DAC	$T_S = 3,1 \text{ V}/\mu\text{s}$
Hodinová frekvence	$F_{SPI} = 10 \text{ Mhz}$

*(TUE zahrnuje offsetovou chybu, chybu zesílení, integrální chybu nelinearity) [10]



Obr.č.: 3.1 Pouzdro Max 548A [10]

Popis vývodů řízeného zdroje MAX 548A [10] :

1	GND	Zemní svorka
2	OUTA	Výstup z DAC 1
3	$\overline{\text{CS}}$	Volba součástky
4	DIN	Sériový datový vstup
5	SCLK	Vstup pro hodinový signál
6	$\overline{\text{LDAC}}$	Naprogramování DAC registru
7	OUTB	Výstup z DAC 2
8	V_{DD}	Napájecí napětí

Výstupní napětí odpovídá [10] :

$$U_{\text{ADC}} = U_{\text{REF}} \cdot \left(\frac{n}{256} \right) \quad [\text{V}] \quad (2)$$

Proměnná n je velikosti 0 – 255, tato hodnota je nastavena vstupním 8-bitovým slovem.

3.1 . Připojení MAX 548A ke sběrnici SPI

Sběrnice Serial Peripheral Interface (SPI) je sériová externí sběrnice sloužící k propojení dvou a více uzlů. Jeden uzel plní funkci MASTER a ostatní uzly pracují v režimu SLAVE. Uzel MASTER poskytuje hodinový signál rozvedený do ostatních SLAVE uzlů. Přenos dat v tomto řešení je synchronní. Hodinový signál je veden vodičem SCLK. Jednotlivé uzly navíc propojují dva datové vodiče. Datový vodič obecně nazýván MISO (MASTER IN SLAVE OUT) slouží k přenosu dat z uzlů SLAVE do uzlu MASTER. Druhý datový vodič MOSI (MASTER OUT SLAVE IN) slouží k přenosu dat z uzlu MASTER k ostatním uzlům SLAVE. Poslední vodič SS (SLAVE SELECT), potřebný k označení správného uzlu SLAVE, který bude komunikovat s uzlem MASTER. Ve skutečnosti je SPI pouze několik externích posuvných registrů navzájem propojených, jejich posun je řízen hodinovým signálem CLK. [12]

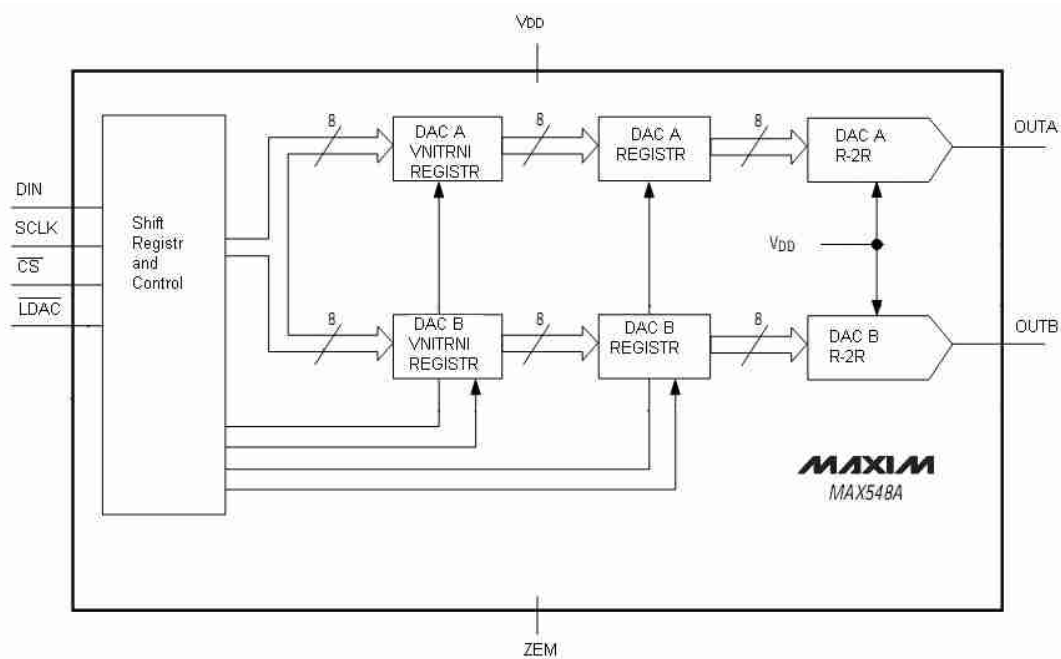
Pro připojení MAX 548A ke sběrnici SPI slouží 4 vodiče. Vodič CLK je připojen na pin SCLK, vodič MOSI je připojen na pin DIN a vodič SS je připojen na pin $\overline{\text{CS}}$. Vodič MISO není použit, zařízení MAX 548A není konstruováno pro obousměrnou komunikaci. Je však použit ještě jeden vodič, který není pro SPI charakteristický. Jde o vodič $\overline{\text{LDAC}}$, který je určen k updatu DAC registrů.

Je-li signál $\overline{\text{CS}}$ ve stavu L, pak je připraven shift registr pro příjem dat ze sériového vstupu DIN součástky MAX 548A. Jednotlivé bity jsou vždy načteny s příchozí nástupnou hranou hodinového signálu pinu SCLK. Hodinová frekvence může být až 10 Mhz.

Jako první je vždy příchozí MSB 16-bit slova složeného ze dvou 8-bit bytů. Zapisovací cyklus je vhodné rozdělit do dvou cyklů po 8-bitech, $\overline{\text{CS}}$ zůstává ve stavu L. Načtených 16-bitů následně zůstane uloženo v Shift registru, nástupná hrana signálu CS programuje DAC výstupy. Vnitřní registry mohou být načteny nezávisle nebo simultánně bez updatu DAC registrů. Zahrnuje i update obou vnitřních registrů simultánně s rozdílnými digitálními hodnotami. DAC výstupy odrážejí data uložená v DAC registrech. $\overline{\text{LDAC}}$ může být použit pro asynchronní update DAC nezávisle na hodnotě $\overline{\text{CS}}$. [10]

Nastavení Control bytu určí samotné nastavení MAX 548A. V Data bytu je uložena hodnota napětí pro ADC výstupy v binárním kódu, viz tab.č.: 3.1. [10]

MAX 548A [10] poskytuje 2 napěťové výstupy. Tester OZ 1458 požaduje 2 řízené napěťové zdroje, bude použito 1 pouzdro MAX 548A.



Obr.č.: 3.2 Vnitřní uspořádání MAX548A [10]

Organizace vstupního Shift Registru a Control Registru [10] :

Tab.č. : 3.1 Organizace vstupních registrů

	Jméno bitu	Stav	Operace
Control byte	<i>UB1*</i>	X	Nepoužit
	<i>UB2</i>	X	Nepoužit
	<i>UB3</i>	X	Nepoužit
	<i>C2</i>	0	Power-up mód
	<i>C2</i>	1	Power-down mód
	<i>C1</i>	0	Načtení do DAC registru povoleno
	<i>C1</i>	1	Načtení do DAC registru zakázáno
	<i>C0</i>	0	DAC registr updatován nástupnou hranou \overline{CS}
	<i>C0</i>	1	DAC registr updatován sestupnou hranou \overline{LDAC}
	<i>A1</i>	0	DAC B výstup neadresován
	<i>A1</i>	1	DAC B výstup adresován
	<i>A0</i>	0	DAC A výstup neadresován
	<i>A0</i>	1	DAC A výstup adresován
Data byte	<i>D7</i>	0/1	Datový bit 7 (MSB)
	<i>D6</i>	0/1	Datový bit 6
	<i>D5</i>	0/1	Datový bit 5
	<i>D4</i>	0/1	Datový bit 4
	<i>D3</i>	0/1	Datový bit 3
	<i>D2</i>	0/1	Datový bit 2
	<i>D1</i>	0/1	Datový bit 1
	<i>D0**</i>	0/1	Datový bit 0 (LSB)

X - Hodnota nerozhoduje

* - Načten první

** - Načten poslední

4 . Měření stejnosměrných proudů

Při měření malých stejnosměrných proudů v hodnotách (1 - 50) mA je možné se zamýšlet nad dvěma metodami :

- Převodník s Halloovým senzorem
- Odporový převodník I-U

4.1 . Převodník s Halloovým senzorem

Magnetické pole B_y kolmé na elektrický proud I způsobuje, že volné nosiče elektrického proudu jsou ve vodiči vychylovány ke stěnám měřicí destičky tloušťky d . Příčinou této odchylky je Lorenzova síla. Mezi stěnami destičky se vytváří rozdíl potenciálů kolmý na směr proudů. Mezi magnetickým polem a Halloovým napětím existuje lineární vztah (3). Hallovo napětí je velmi malé, pouze několik μV .

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B_y}{d} \quad [\text{V}] \quad (3)$$

Popis proměnných :

R_H – Hallova konstanta

D – Tloušťka destičky

I - Elektrický proud

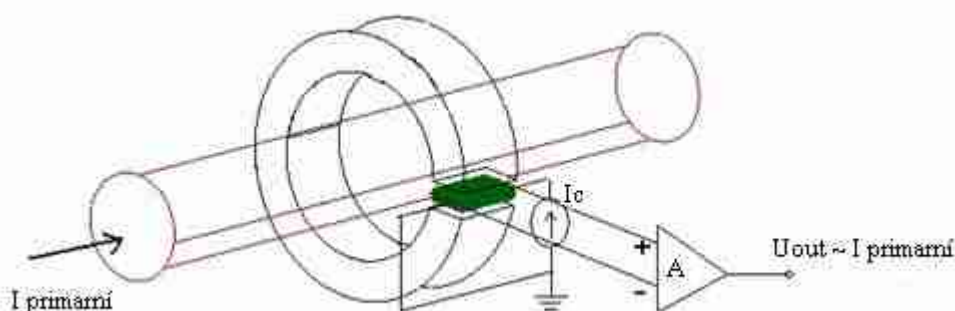
B_y – Magnetická indukce

U_H – Potenciálový rozdíl

K měření proudu Hallovým senzorem se používají dva nejrozšířenější způsoby zapojení :

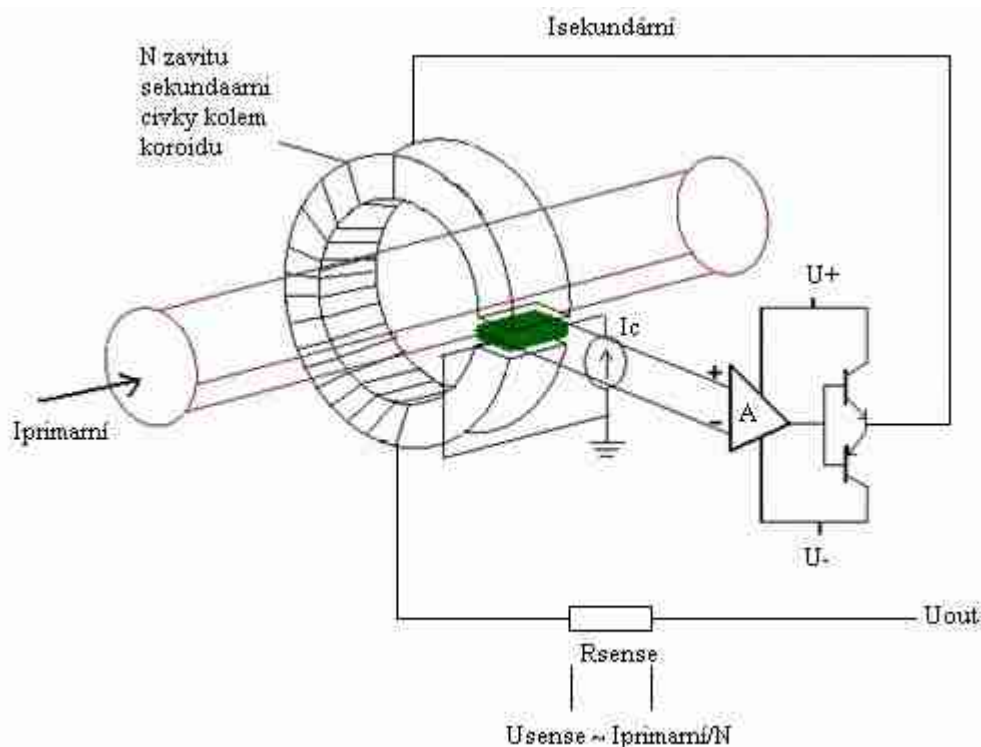
- Měření v otevřené smyčce (Open Loop Hall - Effect Current Sensor),
viz obr.č.: 4.1
- Měření v uzavřené smyčce (Closed Loop Hall - Effect Current Sensor),
viz obr.č.: 4.2

V prvním případě je výhodou velmi snadná realizace měření, kdy se Hallovým senzorem umístěným ve vzduchové mezeře feromagnetického prstence měří intenzita magnetického pole. Prstenec obepíná měřený vodič a koncentruje magnetické pole právě do místa se senzorem. Ten pak na svém výstupu dává magnetickou indukci, respektive proudu úměrné elektrické napětí. Nevýhodou obvykle bývala menší přesnost měření způsobená nepřesností a offsetem Hallova snímače a známými negativními jevy ve feromagnetickém jádře (smyčkové proudy a jen omezeně lineární magnetizační $B - H$ charakteristika). [13]



Obr.č.: 4.1 Měření proudu s Hallovým senzorem v otevřené smyčce, [13]

Tyto negativní vlivy je možné úplně vyrušit měřením v uzavřené smyčce, kde se zpět magnetizuje feromagnetický prstenec opačným proudem tak, že ve výsledku se negativní jevy vyruší (v prstenci se od magnetického toku měřeného proudu odečte magnetický tok generovaný zpětnovazebním proudem regulovaným Hallovým snímačem tak, aby se obě tyto složky vyrovnaly a odečetly = (nulová magnetická indukce na Hallovém snímači). Výsledkem měření je pak regulační proud v uzavřené smyčce. Tento způsob poskytuje sice velmi vysokou přesnost měření prostého všech negativních vlivů, je vhodná i pro velké frekvence proudů (až 150 kHz), ale je složitý na realizaci i finančně nákladný. [13]



Obr.č: 4.2 Měření proudu s Hallovým senzorem v uzavřené zpětnovazební smyčce, kde je magnetický tok v prstencovém jádře od primárního měřeného proudu ($I_{\text{primární}}$) vykompenzován opačným magnetickým tokem od sekundárního proudu ($I_{\text{sekundární}}$). Výstupním signálem je napětí U_{sense} . [13]

Ze známějších společností specializujících se na měření proudu využívajících Hallova jevu a jejichž výrobky jsou dostupné v ČR je společnost Allegro Micro Systems.

V sortimentu společnosti se lze zaměřit na senzory disponující technologií Integrated Magnetic Concentrator (IMC) Hall effect technology. Tato technologie využívá pro měření proudu metodu otevřené smyčky. Koncentrátor pole je integrován do pouzdra senzoru v podobě přídavné feromagnetické vrstvy. Samotný senzor je v podobě křemíkové destičky. Pouzdro obsahuje pro potlačení negativních vlivů implementované součástky pro realizaci různých kompenzačních metod. [15]

Negativní vlivy Hallova senzoru [15] :

- Offset
- Teplotní závislost
- Výrobní odchylka převodní konstanty (citlivosti)
- Vnější elektromagnetické rušení

Odstranění negativních vlivů bývá provedeno těmito metodami [13]:

- Metoda chopované stabilizace technologií BiCMOS pro odstranění dynamického offsetu Hallova elementu (Allegro micro patent)
- Metoda kompenzace zesílení za Hallovým elementem napojeného zesilovače pro odstranění teplotní závislosti citlivosti
- Tovární laserové nastavení odchylky citlivosti senzoru, aby odpovídala katalogové hodnotě
- Filtr typu dolní propust pro odstranění vnějšího rušení, jehož zlomovou frekvenci je možno určit externě zapojenými součástkami a tak definovat frekvenční rozsah měřeného proudu.
- Úprava linearit výstupního napětí a offsetu proudu $I = 0$ A na výstupní části senzoru

Pro aplikaci měření malých proudů je vhodná součástka ACS 714. Součástka ACS 714 disponuje technologií IMC a vyrábí se v šesti variantách, které jsou odlišné maximálním detekovatelným proudem a výrobně nastavenou sensitivitou. Pro maximální detekovatelný proud $\pm 5\text{ A}$ je nastavena výrobce senzitivita 185 mV/A , pro maximální detekovatelný proud $\mp 20\text{ A}$ je nastavena výrobce senzitivita 100 mV/A a pro maximální detekovatelný proud $\mp 30\text{ A}$ je nastavena výrobce senzitivita 66 mV/A . Všechny tyto verze senzoru lze ještě rozdělit na teplotní rozsah E ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$) a L ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$).

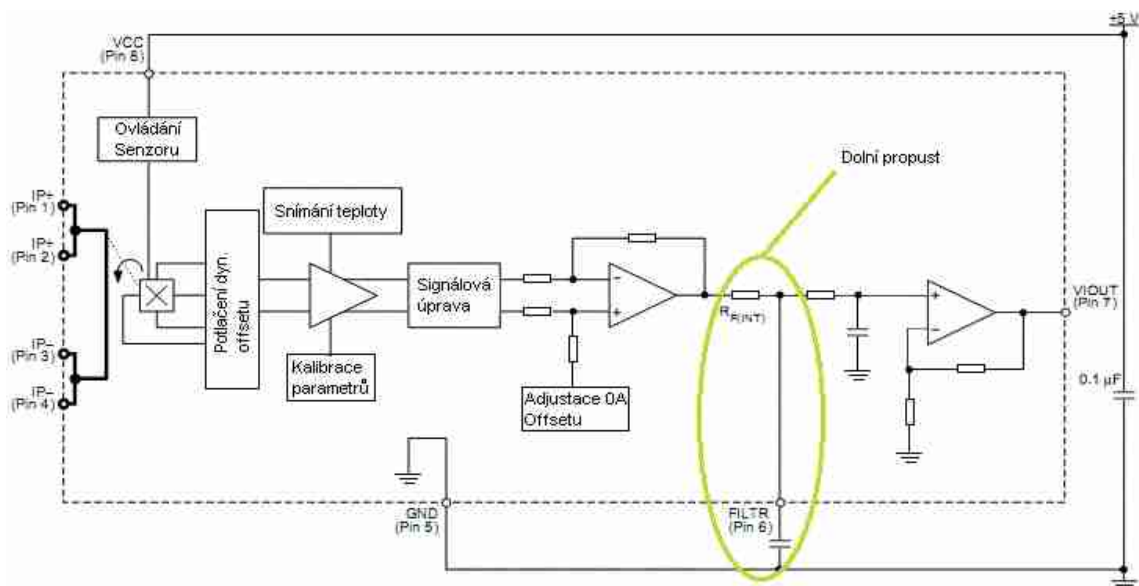
Maximální napájení senzoru $U_{MAXNAPAJENI} = 8\text{ V}$, standardní napájecí napětí $U_{NAPAJENI} = 5\text{ V}$. Proudová zatížitelnost výstupu operačního zesilovače 1458 je maximálně $\mp 40\text{ mA}$ dle datasheetu společnosti Texas Instruments. Pro dostatečnou rezervu budou rozpoznávány proudy I_{SENSE} do $\mp 50\text{ mA}$. Zvolíme tedy pro účel projektu senzor ve verzi $\pm 5\text{ A}$ a využijeme i vysoké sensitivity 185 mV/A . Velkou výhodou je zásah do měřeného obvodu odporem pouze $R = 1,2\text{ m}\Omega$. Prochází-li měřeným obvodem proud $I_{SENSE} = 0\text{ A}$, na výstupu zařízení lze měřit napětí $U_{IOUT} = U_{NAPAJENI} / 0,5$.

Projde-li obvodem proud $I_{SENSE} > 0\text{ A}$, získáme napětí $U_{IOUT} > U_{NAPAJENI} / 0,5$ až do $U_{NAPAJENI}$. Projde-li obvodem proud $I_{SENSE} < 0\text{ A}$, napětí $U_{IOUT} < U_{NAPAJENI} / 0,5$ až k $U_{IOUT} = 0\text{ V (GND)}$ [16].

Součástka je výrobcem prezentována jako nízko šumové zařízení. V datasheetu [16] je zmíněna hodnota šumu peak-to-peak pro šířku pásma 2 kHz , $U_{NOISE} = 21\text{ mV}$. Pro zvolený typ senzoru odpovídá hodnota šumu hodnotě měřeného proudu $I = \mp 56,75\text{ mA}$ za ideálních podmínek. V plánovaném intervalu měřených proudů $I = \mp 50\text{ mA}$ by nebylo možné rozeznat hodnotu šumu od procházejícího měřeného proudu.

Snímání nízkofrekvenčních proudů často vyžaduje jednoduchý RC filtr typu dolní propust mezi výstup senzoru a vstup vyhodnocovacího zařízení jako je například mikroprocesor. Toto provedení zlepšuje odstup signál-šum. Může však u senzoru způsobit nežádoucí útlum na výstupu.

Výrobce se touto problematikou zabýval a vytvořil z pouzdra výstupní PIN pro připojení externího kondenzátoru C_F . Viz obr.č.4.3. Kondenzátor C_F se po připojení stane součástí filtru typu dolní propust uvnitř senzoru. Výstup filtru DP výrobce opatřil bufferem, který má zabránit nežádoucímu útlumu signálu. Filtrem DP lze nastavit šířku pásma a zvýšit SNR . Není však možné nastavit takové potlačení, abychom mohli měřit v požadovaném rozsahu s dobrou přesností. Závěrem je, že měření proudů do $\mp 50\text{ mA}$ se metodou s využitím IMC Hallovy sondy nedá využít.



Obr.č.: 4.3 Blokové schéma ACS 714 [16]

Výhody použití IMC Hallového sensoru proudu :

- Galvanicky oddělené měření všech průběhů proudu včetně proudu stejnosměrného
- Nedochází k ovlivnění měřeného obvodu
- Možnost měřit DC i AC proudy

Nevýhody použití IMC Hallového sensoru proudu :

- Teplotní závislost sensitivity magnetického pole
- Nutné použít koncentrátory pole (nestabilita u, nelinearita), avšak v dnešní době jsou koncentrátory implementovány v IO
- Horší dostupnost IMC technologie v ČR
- Relativně velký šum při měření malých proudů

4.2 . Odporový převodník I-U

Nejznámější výrobci polovodičových součástek jako Texas Instruments [2], On Semiconductor [3], National Semiconductor [17], Maxim [18] a Analog Devices [19] využívají pro měření proudu metodu odporového převodníku.

Uvažujme proud I_{SENSE} tekoucí ze zdroje do napájeného zařízení. Tento proud prochází předřadným odporem R_{SENSE} . Na tomto odporu vznikne v důsledku průchodu proudu I_{SENSE} úbytek napětí U_{SENSE} . K odporu R_{SENSE} připojíme operační zesilovač. Neinvertující vstup operačního zesilovače před odpor R_{SENSE} a invertující vstup za odpor R_{SENSE} . Na výstupu operačního zesilovače bude napětí $U_{OUT} = G (U_{NON} - U_{INV})$. Zesílení OZ je ve vztahu reprezentováno jako *Gain* (G). Měřený proud je definován (4):

$$I_{SENSE} = \frac{(U_{NON} - U_{INV}) \cdot G}{R_{SENSE}} \quad [A] \quad (4)$$

Popis proměnných :

U_{NON} – napětí na neinvertujícím vstupu OZ

U_{INV} – napětí na invertujícím vstupu OZ

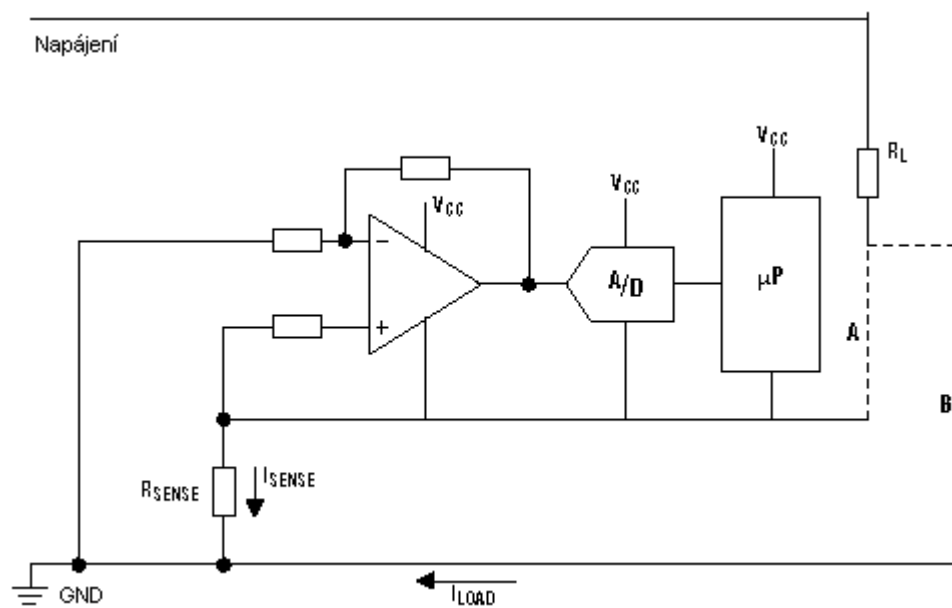
G – zesílení OZ

R_{SENSE} – měřicí odpor

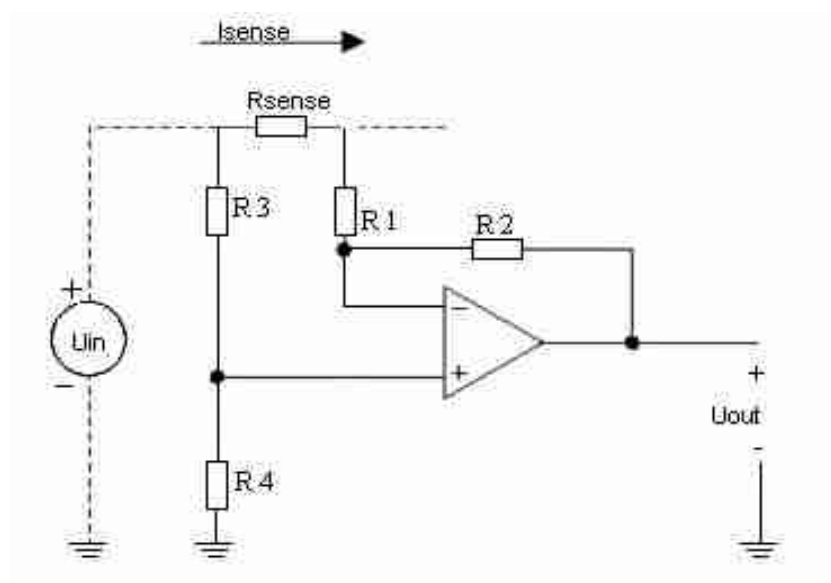
Operační zesilovač má zesílení G řádově stovky tisíc, došlo by okamžitě při průchodu malého proudu odporem R_{SENSE} k saturaci na výstupu zesilovače. Řešením tohoto problému je zapojení operačního zesilovače se zpětnou vazbou. Bude následně možné nastavit zesílení a zlepšit některé z parametrů zesilovače.

Rozdělení odporových převodníků U - I na základě umístění odporu R_{SENSE} v obvodu představují základní principy [20] :

- Low-side, viz obr.č.: 4.4
- High-side, viz obr.č.: 4.5



Obr.č.: 4.4 Princip Low-side [20]



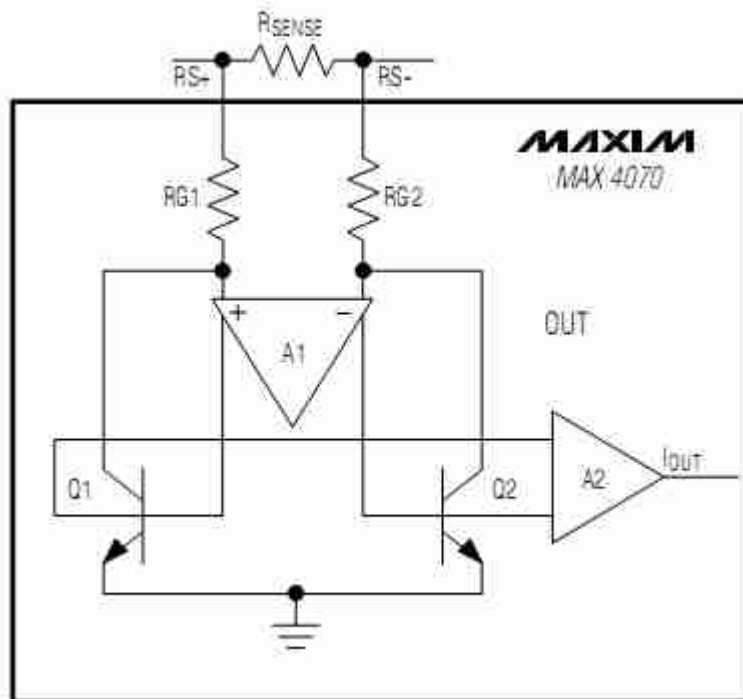
Obr.č.: 4.5 Princip High-side [20]

U principu low-side je odpor R_{SENSE} spojen sériově se zemí a pracujeme s nízkými potenciály. Při zapojení principu high-side je odpor R_{SENSE} připojen sériově k potenciálu vyššímu, např. napájecímu konektoru zařízení odebírajícího proud. Oba přístupy představují kompromis v různých oblastech. Low-side zapojení přidává nežádoucí odpor mezi zařízení odebírající proud a zemnicí svorku. Navíc, bude-li invertující vstup operačního zesilovače připojen k zemnicí svorce odporu R_{SENSE} , pak na jeho výstupu získáme hodnoty napětí $U_{GND} - (R_{SENSE} * I_{SENSE})$, což vyžaduje připojení operačního zesilovače k zápornému napětí. Problematika detekce zkratu nahrává druhému řešení, které zkrat dokáže detekovat snadněji a není zapotřebí dalších obvodových řešení [20]. High-side zapojení se musí vyrovnat s relativně velkými souhlasnými signály. Toto zapojení je v dnešní době stále zdokonalováno a jsou na trhu i obvody, které obsahují všechny potřebné součástky pro správné nastavení zpětné vazby, nastavení výstupů, eventuelně kalibraci parametrů. Dosahované CMMR zapojení je až 110 dB, lze objevit i obvody se schopností rozpoznat směr proudu a lze také nastavit hodnotu zesílení výstupního napětí. Díky integraci odporů ve zpětné vazbě a na dalších místech v zapojení do pouzdra, zaniká problematika tolerance odporů. Odpory mají přesně definovanou velikost a snižuje se chyba měření.

Vhodnou součástkou je MAX4070 [21] společnosti Maxim [18]. Pracuje na principu High-side, snímá obousměrný proud a lze nastavit zesílení měřeného napětí U_{SENSE} na odporu R_{SENSE} . Rozsah napájecích napětí je od 3,6 V do 24 V. Součástka má vnitřní referenční zdroj napětí nastaven na $U_{REF} = 2,5$ V. Připojením vnějšího napětí na pin GSEL se dá nastavit zesílení proudové zpětné vazby zesilovače. Připojením pinu GSEL na zemnicí svorku (GND) je nastaveno zesílení 50 nebo připojením na napájecí napětí U_{DD} je nastaveno zesílení 100. Výrobce udává možné napájení součástky U_{DD} v rozsahu od 3,6 V do 24 V. Napájecí proud $I_{DD} = 100 \mu A$. Vstupní část obvodu viz obr.č.: 4.6. Prochází-li I_{SENSE} ve směru od RS+ k RS-, dochází k vzrůstu proudu skrz vnitřní odpor R_{G1} a tranzistor Q_1 . Ve stejnou chvíli proud skrz tranzistor Q_2 a odpor R_{G2} klesá.

Vnitřní obvod, který není ve schématu zakreslen, zabrání úplnému uzavření tranzistoru Q_2 . V opačném případě, když prochází I_{SENSE} ve směru od RS- k RS+, dochází k vzrůstu proudu skrz vnitřní odpor R_{G2} a tranzistor Q_2 , zároveň se zmenšuje proud odporem R_{G1} , následně i tranzistorem Q_1 . Takto fungující obvod udržuje konstantní napětí U_{SENSE} . Odpory R_{G1} , R_{G2} mají velikost 104 k Ω . Jejich význam v zapojení je omezit procházející proud přes tranzistory Q_1, Q_2 z důvodu minimálního ovlivnění velikosti měřeného proudu a spotřeby zařízení. Následující zesilovací stupeň A2 zajišťuje rozpoznání směru proudu. Prochází-li $I_{SENSE} = 0$ A odporem R_{SENSE} , na výstupu zařízení je napětí $U_{OUT} = 2,5$ V. Napětí U_{OUT} v tomto případě odpovídá

vnitřnímu referenčnímu napětí. Prochází-li proud v kladném směru, napětí vzrůstá z 2,5V do U_{DD} . Průchodem proudu v záporném směru napětí na výstupu klesá z 2,5 V až na 0 V (GND) [21]. Z obr.č.: 4.6 je patrné, že zesilovací stupeň A2 je aktivní prvek OTA. Převod proudu I_{OUT} na U_{OUT} je řešen přímo v obvodu. Tento převod je možné realizovat připojením odporu na proudový výstup I_{OUT} a zemní svorku (GND). Průchodem proudu vznikne na odporu požadovaný úbytek napětí U_{OUT} .



Obr.č.: 4.6 Vstupní část MAX4070 [21]

Výrobce [18] předepisuje doporučené hodnoty odporů R_{SENSE} pro jednotlivé proudy I_{SENSE} v závislosti na zesílení 50 a 100. Pro zesílení 50 je dovolen celkový úbytek napětí $U_{SENSE} = 75$ mV na R_{SENSE} . Pro zesílení 100 je dovolen celkový úbytek napětí $U_{SENSE} = 50$ mV na R_{SENSE} , viz tab.č.: 4.1.

Při konstrukci testeru OZ 1458 je optimální využít proudový rozsah 0,1 A pro měření proudů na napájecí svorce. Doporučený odpor $R_{SENSE} = 500$ m Ω , zesílení 100. Hodnota výstupního napětí pro maximální proud v kladném směru (z RS+ do RS-) je $U_{OUT} = 5$ V. Celkový úbytek napětí pro zesílení 100 je maximální úbytek napětí $U_{SENSE} = 25$ mV v kladném směru proudu I_{SENSE} a maximální úbytek napětí $U_{SENSE} = -25$ mV v záporném směru proudu I_{SENSE} . V kladném směru proudu je tedy $I_{SENCE} = 50$ mA a v záporném směru $I_{SENCE} = -50$ mA. [21]

Demonstrace funkčnosti pro kladný směr proudu $I_{SENSE} = 50 \text{ mA}$:

$$U_{SENSE} = R_{SENSE} \cdot I_{SENSE} = 0,5 \, \Omega \cdot 0,05 \, A = 0,025 \, V \quad (5)$$

$$U_{XOUT} = \text{zesílení} \cdot U_{SENSE} = 100 \cdot 0,025 \, V = 2,5 \, V \quad (6)$$

$$U_{OUT} = U_{XOUT} + U_{REFERENCE} = 2,5 \, V + 2,5 \, V = 5 \, V \quad (7)$$

Ověření funkčnosti pro záporný směr proudu $I_{SENSE} = -50 \text{ mA}$:

$$U_{SENSE} = R_{SENSE} \cdot I_{SENSE} = 0,5 \, \Omega \cdot (-0,05 \, A) = -0,025 \, V \quad (8)$$

$$U_{XOUT} = \text{zesílení} \cdot U_{SENSE} = 100 \cdot (-0,025 \, V) = -2,5 \, V \quad (9)$$

$$U_{OUT} = U_{XOUT} + U_{REFERENCE} = (-2,5 \, V) + 2,5 \, V = 0 \, V \quad (10)$$

Tabulka č.: 4.1 Doporučené hodnoty odporů R_{SENSE} [21]

Proudový rozsah (A)	Hodnota odporu R_{shunt} (mΩ)	Zesílení (V/V)	U_{sense} (mV)	Hodnota výstupního napětí (V)
0.075	1000	50	75	3.75
0.05		100	50	5.0
0.75	100	50	75	3.75
0.5		100	50	5.0
3.75	20	50	75	3.75
2.5		100	50	5.0
7.5	10	50	75	3.75
5.0		100	50	5.0
15.0	5	50	75	3.75
10.0		100	50	5.0

Maximální relativní chyba, které se lze dopustit s touto součástí, údajovaná výrobcem je $\delta = 1,5 \, \%$ [21]. Ve zvoleném rozsahu $I = 0,1 \, A$ je absolutní chyba $\varepsilon = \pm 0,75 \, \text{mA}$. Výstup proudového senzoru je připojen k AD převodníku mikrokontroléru s rozlišením 8-bit.

Tento AD převodník je charakterizován chybou ± 1 LSB [26]. Je-li mikroprocesor napájen napětím $U_{NAPAJECI} = 5$ V, bude chyba AD převodníku v napětí $U_F = \pm 19,5$ mV. Tato chyba odpovídá proudu $I_F = \pm 0,4$ mA proudovým senzorem. Lze tedy chybu AD převodníku zanedbat.

Výhody použití odporového bočníku :

- Metoda konvenční a většinou bezproblémová
- Integrované obvody dokáží měřit obousměrné proudy
- Dostupnost
- Navržené obvody se dělí podle aplikačního použití (automobilový průmysl, mobilní zařízení apod.), což má za následek vývoj různých architektur nesoucích každá zvlášť své rozšířené schopnosti

Nevýhody použití odporového bočníku :

- Ztráta výkonu v měřeném obvodu
- Ovlivňování měřeného obvodu
- Galvanické spojení vyžaduje zvláštní izolační zesilovač
- Omezená šířka frekvenčního pásma

5 . Metoda testování operačního zesilovače 1458

Hlavní požadavky na zvolenou metodu jsou zjistit správné zesílení a detekovat nadměrné proudy v operačním zesilovači 1458 za pomoci mikrokontroléru. Na obvod operačního zesilovače je nutné začít nahlížet jiným způsobem než doposud. Je vhodné odmyslet si vnitřní zapojení a pracovat pouze se znalostí základních parametrů a vlastností operačního zesilovače 1458. K dispozici jsou pouze vývody z pouzdra jako jediná možnost kontaktu s touto součástkou. Vyjdeme tedy ze zapouzdření viz obr.č.: 2.1.

5.1 . Detekce nadměrného proudu :

V kapitole 4 se nachází rozbor způsobů měření malých stejnosměrných proudů. Z dosažených poznatků je zřejmé, že realizace bude provedena metodou odporového převodníku $U-I$ s pomocí integrovaného obvodu MAX 4070 [21].

Při správné funkci OZ 1458 budou očekávány hodnoty proudů korespondující s proudy uvedenými v datasheetu společnosti Texas Instruments. [1]

K nadměrným proudům v operačním zesilovači může dojít z důvodu průrazu některého z tranzistorů vlivem například nešetrného zacházení zahrnující nedodržení pravidel při zapojování. Další možností může být zkrat v pouzdře, který se nemusel projevit při závěrečném testování součástky při výstupu z výroby. Jakákoliv taková závada se projeví na celkové funkčnosti součástky. Důležité je zejména sledování proudů do vstupů operačního zesilovače, u OZ 1458 $I_{IB} = 500 \text{ nA}$ [8] pro každý vstup. Maximální výstupní proud $I_{OSMAX} = \pm 40 \text{ mA}$. Proudový odběr pouzdra OZ 1458 [1] $I_{CC} = 5,6 \text{ mA}$ při $U_{výstupní} = 0 \text{ V}$. Ze znalosti těchto parametrů lze stanovit limity pro měření proudů. Důležité je porovnání těchto hodnot s ostatními výrobci z důvodu kompatibility testů se všemi typy OZ 1458, viz tab.č.: 5.1. Byl by-li detekován proud vyšší než předepisuje tolerance, jednalo by se o nadměrný proud.

Přehled důležitých proudů v porovnání mezi výrobci :

Tab.č.: 5.1 Porovnání důležitých parametrů mezi výrobci OZ 1458 [1, 22, 23]

Proudový parametr	Texas Instruments	Fairchild Semiconductor	National Semiconductor
I_{CCMAX} [mA]	5,6	2,3	5,6
I_{OSMAX} [mA]	± 40	20	*
I_{IBMAX} [nA]	500	300	300

*Výrobce v datasheetu neuvádí hodnotu parametru

Zkratky uvedené v tab.č.: 5.1 :

I_{CCMAX} – maximální proudová spotřeba při $U_{OUT} = 0$ V (pro obě pouzdra)

I_{OSMAX} – maximální výstupní proud z operačního zesilovače typu 1458

I_{IBMAX} – maximální proud protékající vstupy operačního zesilovače typu 1458

Z tab.č.: 5.1 je patrné, že produkt společnosti Texas Instruments OZ 1458 [8] je vhodný z hlediska stanovení parametrů pro mezní hodnoty proudů.

Proudové limity detekující špatnou funkci OZ 1458 s ohledem na detekční limity proudových senzorů a AD převodníků mikroprocesoru :

- Vstupní proud $I_{IBMAX} > 2$ mA
- Výstupní proud z jednoho výstupu OZ 1458 $I_{OSMAX} > \pm 40$ mA
- Proudový odběr $I_{CCMAX} >$ vlastní proudový odběr ($I_{CC} = 5,6$ mA) + výstupní proud + tolerance měření (absolutní chyba senzoru proudu $\varepsilon = \pm 0,75$ mA)

5.2 . Detekce poruchy zesílení

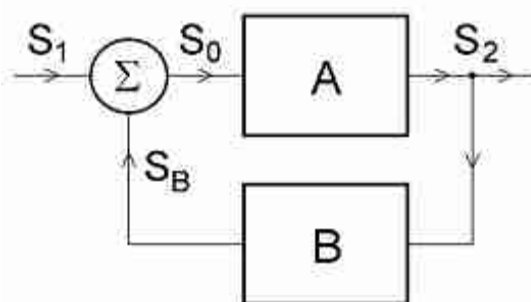
Napětové zesílení OZ 1458, v zapojení podle obr.č.: 2.3, je $A_{VD} = 106 \text{ dB}$ [8]. Toto zesílení je možno zapsat jako :

$$A_V = \frac{U_{\text{výstupní}}}{U_D} \quad [-] \quad (11)$$

Jednoduchým principem lze zesílení nepřímou určit a potažmo zjistit správnou funkčnost. Do vztahu (11) dosadíme změřené napětí $U_{\text{VÝSTUPNÍ}}$ a U_D (diferenční). Výsledek bude dán bezrozměrným číslem určujícím zesílení zesilovače. Operační zesilovač 1458 má zesílení $A_V = 200000$ [8]. Pro využití maximálního rozsahu výstupu OZ 1458, kdy rozkmit výstupního napětí $U_{OM} = \pm 13 \text{ V}$ [8], je napájení $U_{CC} = 15 \text{ V}$ a $U_{CC-} = -15 \text{ V}$ [8]. Na vstupy zesilovače je následně přiveden signál $U_D \leq 65 \mu\text{V}$. Pokud by bylo napětí $U_D > 65 \mu\text{V}$, došlo by k saturaci operačního zesilovače. Je tedy nutné dodržet vstupní podmínku. Pro realizaci této metody je nutné disponovat přesným měřičem napětí pro řády μV a také přes přídavný odporový dělič nastavovat tuto nízkou napětí na vstupu. Celkově je tato metoda hůře aplikovatelná pro automatizovanou podobu, než metoda následující.

Principiálně náročnější metoda, odbourávající technickou náročnost z hlediska přesného nastavování nízkých napětí, je metoda s využitím signálových zpětných vazeb.

Část výstupního signálu je přivedena zpět na vstup zesilovače a znovu se zesiluje. To ovlivní nejen celkové zesílení, ale i další parametry zesilovače, viz obr.č.: 5.1.



Obr.č.: 5.1 Zpětná vazba [9]

Popis zpětné vazby v pásmu středních kmitočtů pro konstantní modulovou charakteristiku s nulovým fázovým posuvem :

$$A_K = \frac{S_1}{S_2} \quad [-] \quad \text{Celkové zesílení zesilovače se zavedením zpětné vazby} \quad (12)$$

$$A = \frac{S_2}{S_0} \quad [-] \quad \text{Zesílení zesilovače bez zpětné vazby} \quad (13)$$

$$B = \frac{S_B}{S_2} \quad [-] \quad \text{Přenos zpětnovazebního článku} \quad (14)$$

$$AB = \frac{S_2}{S_0} \cdot \frac{S_B}{S_2} = \frac{S_B}{S_0} \quad [-] \quad \text{Přenos zpětnovazební smyčky} \quad (15)$$

Dále platí :

$$S_0 = S_1 + S_B \Rightarrow S_1 = S_0 - S_B \quad [-] \quad (16)$$

Pro celkový přenos tedy :

$$A_K = \frac{S_2}{S_1} = \frac{A \cdot S_0}{S_0 - S_B} = \frac{A}{1 - \frac{S_B}{S_0}} = \frac{A}{1 - AB} \quad [-] \quad (17)$$

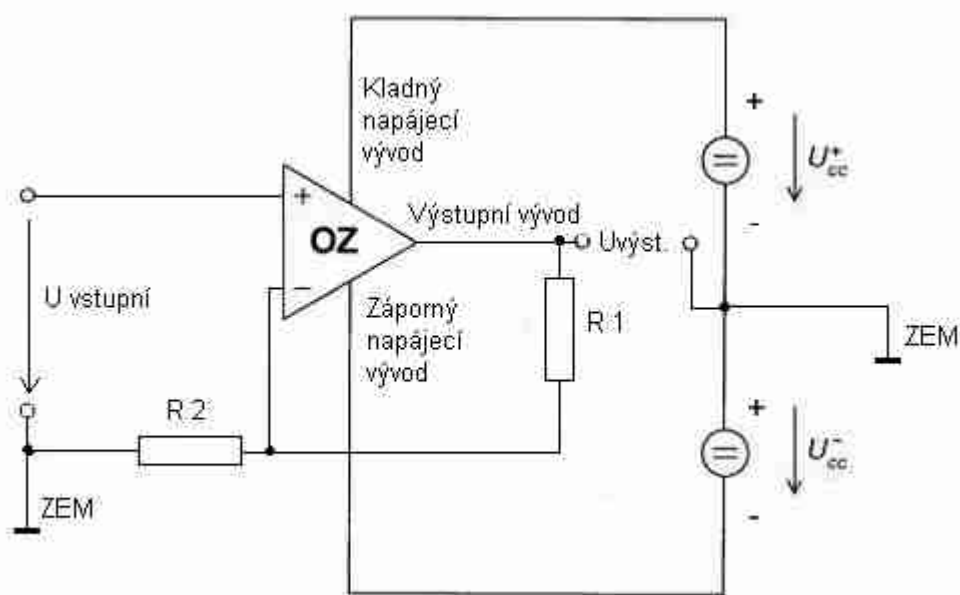
Signál po průchodu zpětnovazební smyčkou může být se vstupním signálem buď souhlasný nebo nesouhlasný. O celkovém přenosu rozhoduje především jmenovatel $N = 1 - AB$. Mohou nastat čtyři základní hodnoty součinu AB viz tab.č.: 5.2, ZV značí zpětnou vazbu.

Tab.č.: 5.2 Vliv součinu AB na ZV

AB [-]	$1-AB$	A_K [-]	Typ ZV	Stabilita
$AB < 0$	$(1-AB) > 1$	$A_K < A$	Záporná ZV	Vyšší
$0 < AB < 1$	$1 > (1-AB) > 0$	$A_K > A$	Kladná ZV	Nižší
$AB = 1$	$(1-AB) = 0$	$A_K = \infty$	Kladná ZV	Mez stability
$AB > 1$	$(1-AB) < 0$	$A_K > -\infty$	Kladná ZV	Mez stability

Chceme-li snížit celkové zesílení A_K , je nutné použít zápornou ZV. Při aplikaci pro operační zesilovače 1458 je zesílení $A = A_V = 200000$ [1]. Platí-li vztah (17), je nutné dodržet podmínku $AB < 0$ pro získání záporné zpětné vazby. Protože $A =$ konstanta, je možné změnit pouze hodnotu B . Znamená to zapojit OZ 1458 takovým způsobem, aby bylo možné aplikovat zápornou zpětnou vazbu a nastavit vhodný přenos zpětnovazebního článku.

Velmi vhodné zapojení je OZ 1458 v zapojení neinvertujícího zesilovače se zápornou zpětnou vazbou viz obr.č. 5.2.



Obr.č.: 5.2 OZ 1458 v zapojení neinvertujícího zesilovače se zápornou zpětnou vazbou

Celkové zesílení A_K pro zapojení neinvertujícího zesilovače vychází ze vztahu (17) pro zpětnou vazbu :

$$A = A_V = 200000 [-] \quad (18)$$

$$B = -\frac{R_1 + R_2}{R_2} [-] \quad (19)$$

$$A_K = \frac{A_V}{1 - A_V \cdot \left(-\frac{R_1 + R_2}{R_2}\right)} = \frac{1}{\frac{1}{A_V} + \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2}\right)} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} [-] \quad (20)$$

Platí :

$$U_{VYSTUPNI} = U_{VSTUPNI} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) [V] \quad (21)$$

Ve vztahu (20) je patrné, že celkové zesílení bude ovlivněno nastavením odporů R_1 a R_2 . Volba hodnot odporů bude také záviset na proudových možnostech operačního zesilovače OZ 1458.

V podkapitole 5.1 je určen maximální výstupní proud $I_{OSMAX} = \pm 40$ mA. Výstupní proud $I_{OSMAX} = \pm 40$ mA není však typický pro všechny produkty na trhu a je nutné zvolit mnohem menší výstupní proud $I_{OMAX} = \pm 20$ mA pro hodnotu maximálního zesíleného napětí na výstupu zesilovače. V zapojení OZ 1458 jako neinvertujícího zesilovače s nesymetrickým napájením $U_{CC+} = 10$ V, $U_{CC-} = 0$ V je maximální výstupní napětí $U_{VYSTUPNI} = 6,4$ V. Při této hodnotě se OZ 1458 nachází v kladné saturaci. Pro správnou funkci testeru je důležité volit výstupní napětí takové, aby operační zesilovač 1458 nebyl v režimu saturace. Toto napětí bylo experimentálně změřeno jako $U_{VYSTUPNI} = 6$ V. Proudová sonda na napájecí svorce je konstruována pro maximální měřený proud $I_{SENSE} = \pm 50$ mA. Samotný operační zesilovač 1458 při nulovém výstupním napětí odebírá proud $I_{CCMAX} = 5,6$ mA. Při testování obou operačních zesilovačů současně a výstupním proudem z každého výstupu $I_{OMAX} = \pm 20$ mA by napájecí svorkou s proudovou sondou procházelo (22):

$$I_{OUT} = I_{CCMAX} + (2 \cdot I_{OMAX}) = 5,6 \text{ mA} + (2 \cdot 20 \text{ mA}) = 45,6 \text{ mA} \quad (22)$$

Výpočet (22) ukazuje, že při nastavení zpětné vazby na maximální možný výstupní proud by proudová sonda na napájecí svorce OZ 1458 byla schopna změřit.

Absolutní chyba proudové sondy MAX 4070 [21] činí v nastaveném měřeném rozsahu $\varepsilon = \pm 0,75 \text{ mA}$. Technické okno rozpoznávající správnou funkci od vady, s ohledem na detekční limit proudové sondy, činí 3,65 mA. Tato hodnota je velmi malá.

Byl by-li zvolen $I_{OMAX} = \pm 20 \text{ mA}$ a došlo by k poruše nadměrných proudů u obou zesilovačů, pak proud procházející napájecí svorkou OZ 1458 by snadno přesáhl maximální detekovatelný proud. Proudová sonda v tomto případě není schopna procházející proud vyhodnotit.

Je nutné tedy zvětšit testovací okno při plném zatížení poudra OZ 1458. Zvolíme výstupní proud pro jeden výstup OZ 1458 $I_{OUT} = 13 \text{ mA}$, snahou je vytvořit dostatečně velké testovací okno.

Návrh parametrů zpětné vazby :

$$A_K = 2 \text{ [-]} \quad \text{Zvolené zesílení zpětné vazby} \quad (23)$$

$$U_{VÝSTUPNÍ} = 6 \text{ V} \quad \text{Maximální výstupní napětí při nesymetrickém napájení} \quad (24)$$

$$U_{VSTUPNÍ} = 3 \text{ V} \quad \text{Vstupní napětí na neinvertujícím vstupu OZ} \quad (25)$$

$$R_2 = 220 \text{ } \Omega \quad \text{Odpor } R_2 \text{ (dle řady E 24), viz Obr.č.: 5.2} \quad (27)$$

$$U_{R2} = U_{VSTUPNÍ} = 3 \text{ V} \quad \text{Napětí na odporu} \quad (26)$$

$$I_{R2} = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{3 \text{ V}}{220 \text{ } \Omega} = 13,6 \text{ mA} \quad \text{Proud protékající odporem } R_2 \quad (28)$$

$$R_1 = \frac{U_{VYSTUPNI} - U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{6V - 3V}{13,6mA} = 220\Omega \quad \text{Odpor } R_1 \text{ (dle řady E 24)} \quad (29)$$

Nastavení zesílení dle výrazu (20). Pro výstupní napětí platí závislost určena výrazem (21). Je-li stanoven R_1 , R_2 i $U_{VSTUPNI}$, lze na základě jiného než očekávaného výstupního napětí (21) rozhodnout o poruše zesílení. Pro funkční OZ 1458 dle návrhu zpětné vazby platí (30) :

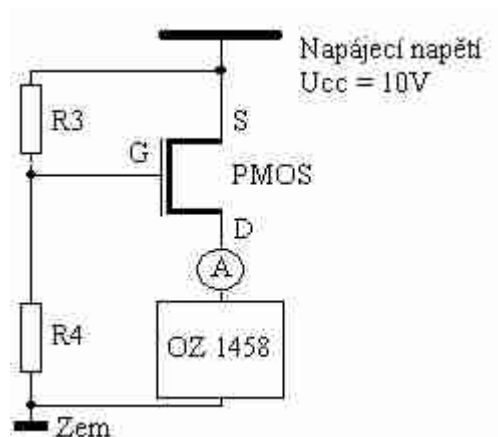
$$U_{VYSTUPNI} = U_{VSTUPNI} \cdot A_K = 2 \cdot U_{VSTUPNI} \quad [V] \quad (30)$$

6 . Návrh zapojení testeru OZ typu 1458

Koncepce testovacího obvodu OZ 1458 je navržena s ohledem na stanovené požadavky a získané poznatky :

- Test řízen mikroprocesorem
- Napájecí napětí operačního zesilovače $U_{CC+} = 10\text{ V}$, $U_{CC-} = 0\text{ V}$
- Napájecí napětí mikroprocesoru, MAX 4070, MAX 548A je $U_{NAPAJECI} = 5\text{ V}$
- Proud měřen odporovým převodníkem $U-I$ MAX 4070 [21], vyhodnocován mikroprocesorem
- Napětí měřeno integrovaným 8-bit AD převodníkem mikroprocesoru
- Použit řízený zdroj napětí MAX 548A [10]
- Zahrnuta zpětná vazba jako součást kontroly zesílení

Jako vzor slouží základní zapojení OZ 1458 a jeho zpětné vazby v zapojení neinvertujícího zesilovače viz obr.č.: 5.2 . Je zavedeno nesymetrické napájení OZ 1458 $U_{CC+} = 10\text{ V}$, $U_{CC-} = 0\text{ V}$, $A_K = 2$ podle (20, 27, 29). Odpovídající statická převodní charakteristika viz obr.č.: 6.2. Výhoda zavedení nesymetrického napájení spočívá v možném zkratovém proudu pouze z napájení U_{CC+} . Není tedy nutno měřit proud tekoucí ze záporného vývodu napájení OZ 1458. Pro měření nadměrných proudů je nutné zapojit proudový senzor MAX 4070 na kladný vývod napájení OZ 1458 a neinvertující vstupy OZ 1458. Při správné funkci OZ 1458 proudový senzor MAX 4070 na kladném vývodu napájení měří celkovou proudovou spotřebu obvodu. Tento proud je vždy nižší než maximální detekovatelný proud $I = \pm 50\text{ mA}$. V případě vady OZ 1458 by mohlo dojít k nekontrolovatelnému nárůstu průchodu proudu skrze napájecí svorku OZ 1458. Došlo by k překročení doporučené hodnoty úbytku napětí na měřicím odporu R_{SENSE} a možnému zničení měřícího zařízení. Řešením je zapojení proudového omezovače. Vhodným proudovým omezovačem vysokých proudů je PMOS tranzistor. Zapojení viz obr.č.: 6.1.

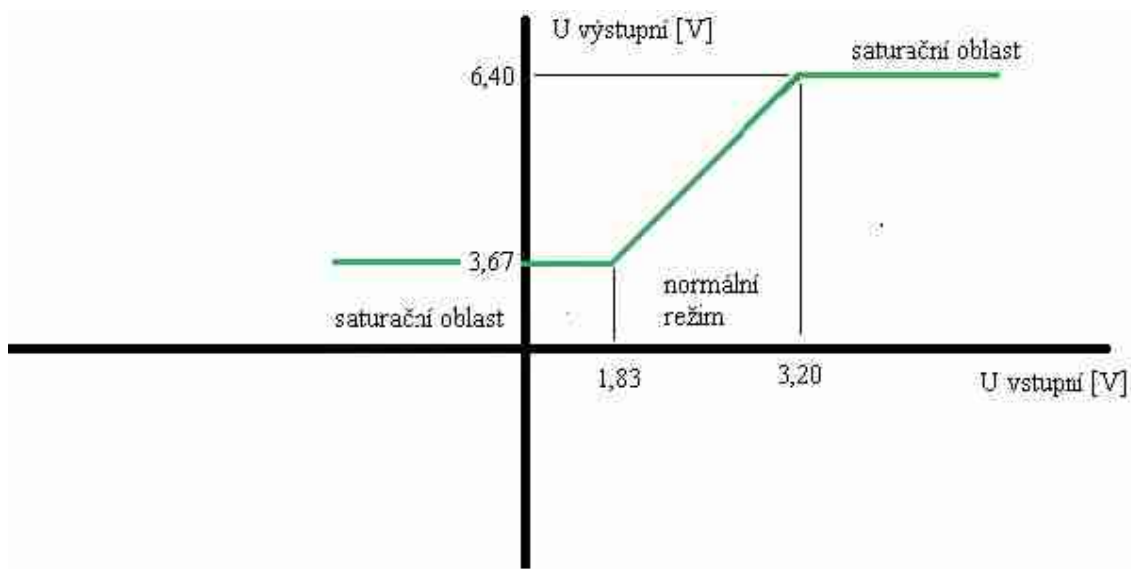


Obr.č.: 6.1 Zapojení PMOS tranzistoru jako proudového omezovače

U PMOS tranzistoru bude dosaženo při proražení struktury OZ 1458 $U_{DS} = 10\text{ V}$. S pevně nastaveným napětím U_{GS} je možné nastavit maximální procházející proud strukturou I_{MAX} a zamezit tak zničení proudového senzoru.

Neinvertující vstup je opatřen řízeným napěťovým zdrojem MAX 548A. Funkční OZ 1458 odebírá z neinvertujícího vstupu $I_{IBMAX} = 500\text{ nA}$ [8]. Tento proud není proudovými sondami na vstupech rozpoznatelný. Není nutno tento proud započítat s ohledem na jeho velikost. Může však nastat případ, kdy by OZ 1458 měl průraz vstupní svorky nebo jinou poruchu způsobující průchod proudu přes neinvertující vstup. Z tohoto důvodu je proudový senzor MAX 4070 na neinvertující svorce připojen.

Invertující svorka není opatřena proudovým senzorem. Detekci nadměrných proudů zde zajišťuje záporná signálová zpětná vazba. Projde-li přes odpory R_1 , R_2 jiný proud, než nastavený zpětnou vazbou, vznikne úbytek napětí na odporech odpovídající tomuto proudu následován jiným zesílením, OZ 1458 jako neinvertující zesilovač, které nebude korespondovat s (30). Tato porucha nadměrných proudů se skryje za poruchu zesílení. Bude však odhalena.



Obr.č.: 6.2 Statická převodní charakteristika OZ 1458 v zapojení neinvertujícího zesilovače při nesymetrickém napájení

Výstupní napětí OZ typu 1458 z hlediska chyby zesílení může vykazovat :

- Neměnné $U_{\text{VÝSTUPNÍ}} = 3,67 \text{ V}$ nebo $6,4$ - jev saturace
- Odlišné $U_{\text{VÝSTUPNÍ}}$ než popisuje vztah (30)

Vadný OZ 1458 v zapojení neinvertujícího zesilovače z hlediska nadměrných proudů vykazuje :

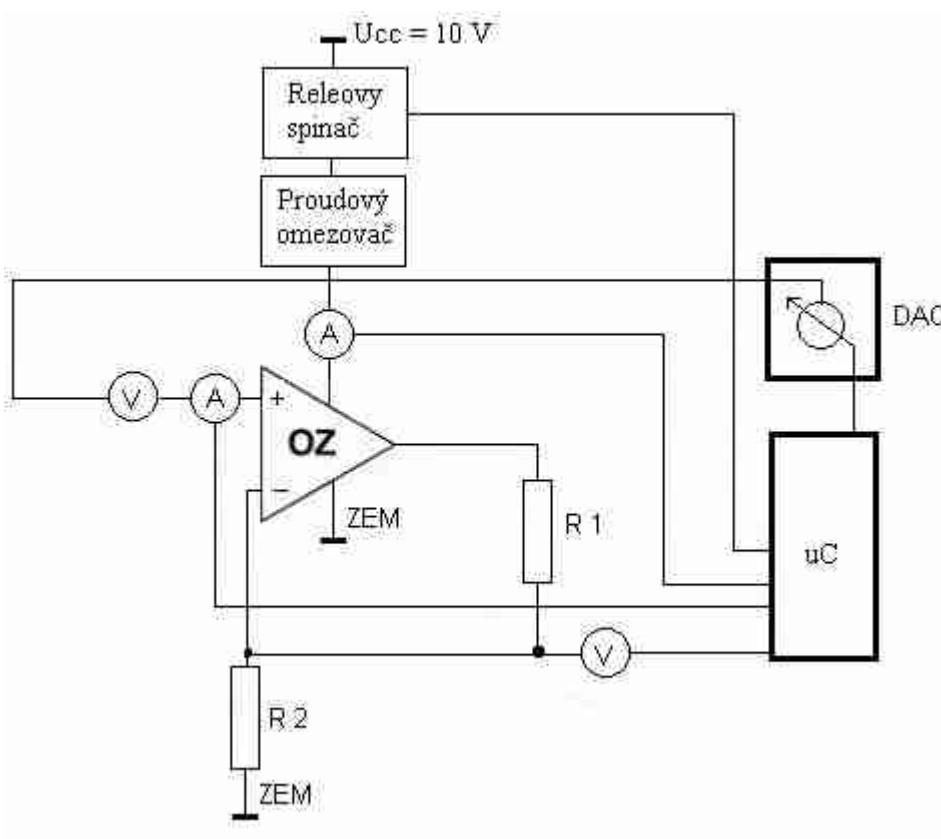
- Proud neinvertující vstupní svorkou $I_{IBMAX} > 2 \text{ mA}$
- Výstupní proud $I_o > I_{OUT}$

$$I_{OUT} = \frac{U_{VYSTUPNI}}{R_1 + R_2} \quad [\text{A}] \quad (31)$$

I_o – změřený výstupní proud z neinvertujícího zesilovače s OZ 1458

I_{OUT} – teoretická hodnota výstupního proudu z neinvertujícího zesilovače

- Proudový odběr $I_{CCMAX} > \text{vlastní proudový odběr } (I_{CC} = 5,6 \text{ mA}) + \text{výstupní proud } I_{OUT} + \text{tolerance měření (absolutní chyba senzoru proudu } \varepsilon = \pm 0,75 \text{ mA)}$



Obr.č.: 5.4 Funkční blokové schéma testeru OZ 1458

6.1 . Proudový omezovač

Proudový omezovač musí omezit maximální proud protekající dále do obvodu testeru a splnit také důležitou podmínku – malý úbytek napětí při správné funkci testeru z důvodu neovlivnění funkčnosti OZ 1458. Jednoduchým a zároveň funkčním řešením je použití PMOS tranzistoru.

Požadavky na PMOS tranzistor :

- Schopnost bezproblémového průchodu proudem $100\text{ mA} > I_{MAX} > 50\text{ mA}$ při $U_{DS} = 10\text{ V}$
- V případě fixně nastaveného U_{GS} , schopnost i při nízkém U_{DS} dodávat do obvodu proud potřebný pro správnou funkci OZ 1458 při testování součástky
- Dostupnost, zapouzdření v SMD

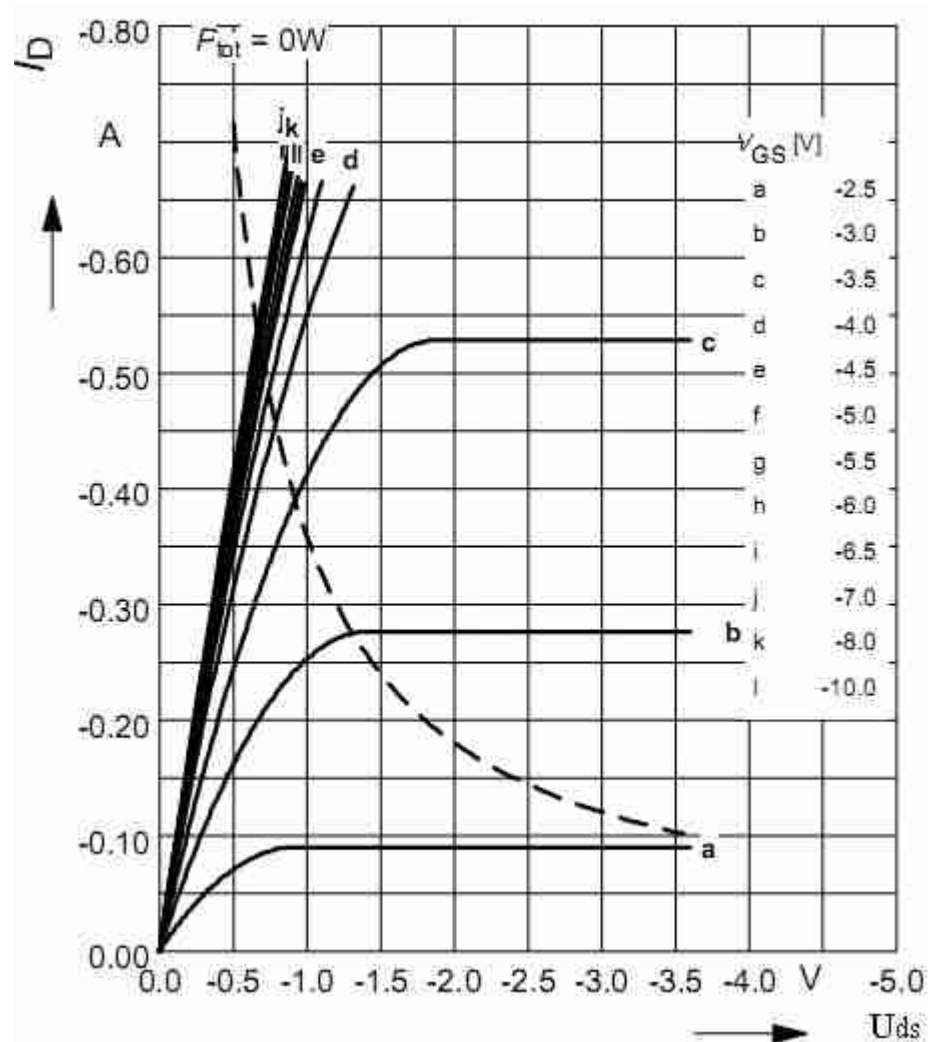
Všechny požadavky splňuje PMOS tranzistor typu BSS 83P [24]. K určení nastavení pracovního bodu je využita charakteristika $I_D = f(U_{DS})$ viz obr.č.: 6.1.

Pracovní oblast pro účel proudového omezovače bude pro $U_{GS} > -2,5\text{ V}$, z důvodu mnohem menšího maximálního procházejícího proudu než $I_{DS} = 90\text{ mA}$ pro $U_{GS} = -2,5\text{ V}$. Experimentálním měřením bylo určeno optimální $U_{GS} = -2,16\text{ V}$. Tranzistor BSS 83P při $U_{GS} = -2,16\text{ V}$, $U_{DS} = 10\text{ V}$ propustí proud $I_{DS} = 65\text{ mA}$, tyto podmínky nahrazují pro tranzistor stav vadného OZ 1458. Tímto se splní omezení velkého proudu a proudová sonda nebude zničena. Dochází však k namáhání sondy a bude vhodné po odměření maximálního proudu napětíovou svorku OZ 1458 odpojit. Odpojení proběhne pomocí releového spínače zařazeného před proudový omezovač.

Tranzistor BSS 83P při $U_{GS} = -2,16\text{ V}$ a připojeném funkčním OZ 1458 dokáže proudově zásobit tester bez omezení funkčnosti. Úbytek napětí $U_{DS} = 0,25\text{ V}$, dochází ke splnění podmínky malého úbytku napětí na proudovém omezovači.

Nastavení stálé hodnoty $U_{GS} = -2,16\text{ V}$ je dosaženo napětíovým děličem viz obr.č: 6.1 podle (32).

$$-U_{GS} = \frac{U_{CC} \cdot R_3}{R_3 + R_4} = \frac{10 \text{ V} \cdot 910 \Omega}{910 \Omega + 3300 \Omega} = 2,16 \text{ V} \quad (32)$$



Obr.č.: 6.1 Charakteristika $I_D = f(U_{DS})$ [24]

6.2 . Releový spínač

Releový spínač je zapojen mezi přívod napájení a proudový omezovač. Jeho úkolem je odpojit tester OZ 1458 od napájení v případě nadměrného proudu z důvodu zkrácení doby průtoku nadměrného proudu a šetrnějšímu zacházení se součástkami.

Požadavky na releový spínač :

- DC cívka pro řízení spínání mikrokontrolérem
- Spínání proudů $I < 0,3 \text{ A}$
- Schopnost spínat napětí $U > 10 \text{ V}$
- Malý odpor spínače v sepnutém stavu
- Integrovaná dioda pro omezení přepětí při přechodném ději rozepnutí
- Dostupnost

Zadané požadavky splňuje releový spínač S1A050D00 [25] od společnosti Cosmo electronic corporation.

Důležité parametry releového spínače S1A050D00 [25] :

- Odpor sepnutého spínače $R_{ON} = 0,1 \text{ } \Omega$
- Odpor v rozepnutém stavu $R_{OFF} = 10^{11} \text{ } \Omega$
- Maximální spínané stejnosměrné napětí $U = 200 \text{ V}$
- Maximální spínaný stejnosměrný proud $I = 0,5 \text{ A}$
- Minimální napětí potřebné k sepnutí $U_{MIN} = 3,75 \text{ V}$
- Minimální proud potřebný k sepnutí $I_{MIN} = 10 \text{ mA}$

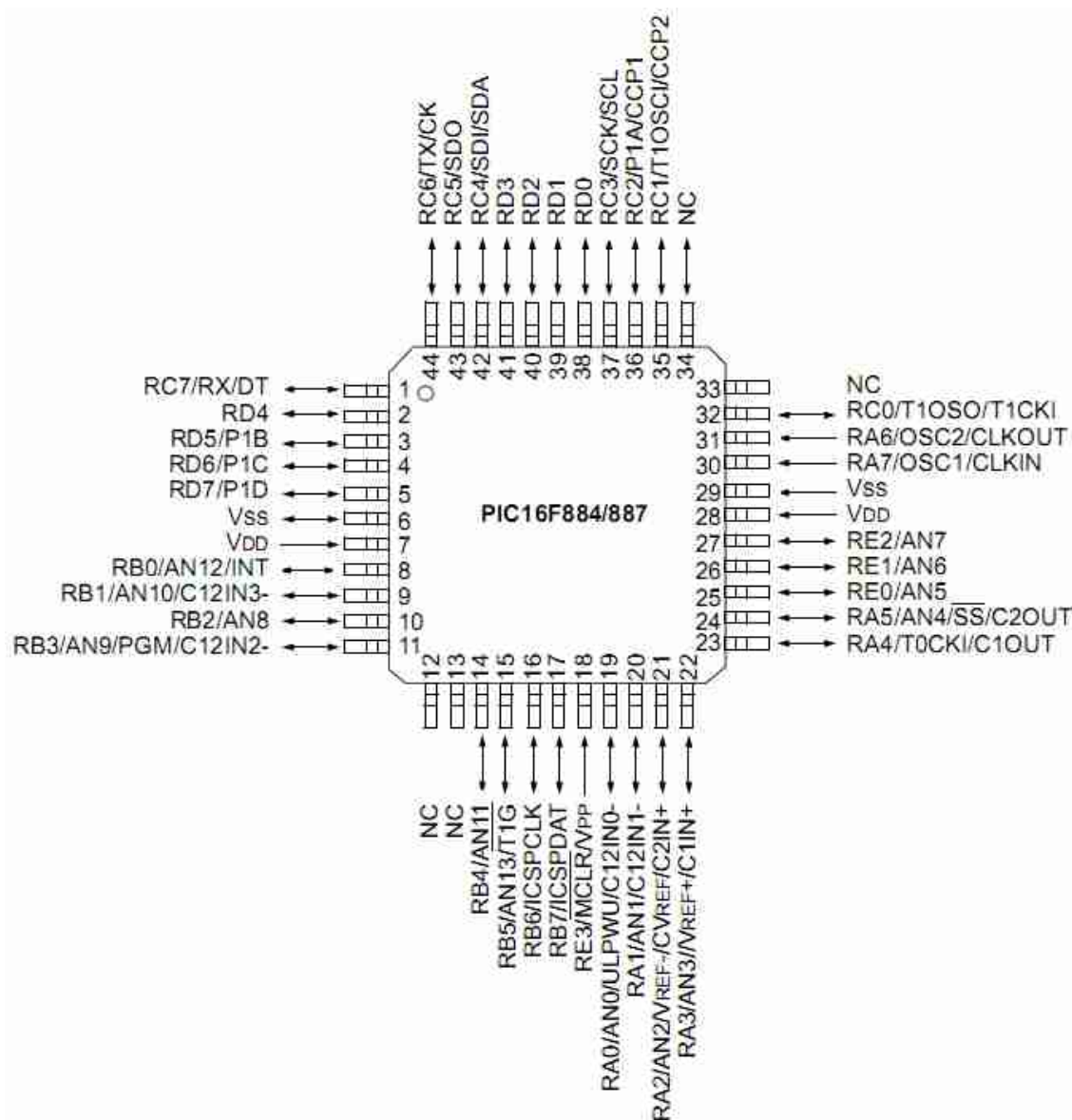
6.3 . Volba mikrokontroléru

Mikrokontrolér zastává v testeru OZ typu 1458 funkci hlavního řídicího a vyhodnocovacího členu. Ve 4. semestru bakalářského studia oboru Mikroelektronika se studenti v předmětu Digitální obvody a mikroprocesory (BDOM) mohli seznámit se základy mikrokontrolérů. Vývojové přípravky byly osazeny mikrokontroléry společnosti Microchip typu PIC16F690 [27]. Na základě získaných poznatků o těchto mikroprocesorech byl pro tester vybrán mikrokontrolér od společnosti Microchip [29] jako demonstrace praktického použití nabytých vědomostí.

Požadavky na mikrokontrolér od společnosti Microchip :

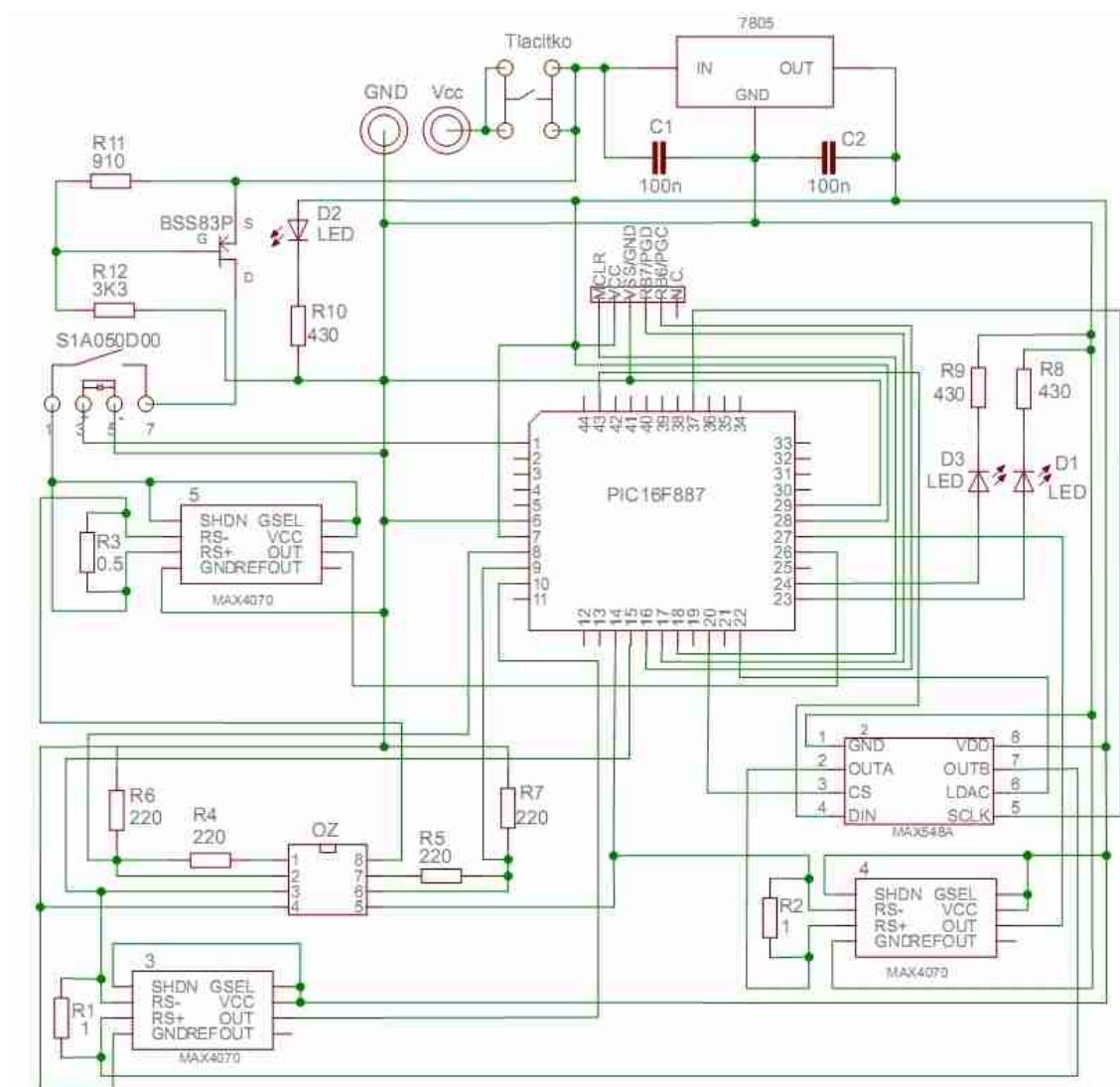
- Napájecí napětí $U_{NAPAJECI} = 5 \text{ V}$
- Schopnost pracovat se sběrnicí SPI
- Integrovaný AD převodník s rozlišením 8-bitů v minimálním počtu 7
- Minimální počet 3 logických výstupů pro řízení hodnot L, H
- Integrovaný oscilátor
- Schopnost ICSP (naprogramování bez vyjmutí z obvodu)
- Dostatečné rozšíření mezi uživateli z důvodu dostupnosti textů
- Dostupnost v ČR, pouzdro SMD, cena

Vhodným mikrokontrolérem je zvolen PIC16F887 [26] v pouzdře 44-pin TQFP, zejména díky příznivé ceně za dostupný počet funkcí. Také z důvodu rozšíření mezi uživateli, protože je vhodný pro začátečníky. Tento typ se svou architekturou neliší od výukového PIC16F690 kromě počtu převodníků AD, vstupně výstupních portů a dalších novějších technologií použitých v PIC16F887. Pouzdro s popisem vývodů viz obr.č.: 6.2.



Obr.č.: 6.2 Popis vývodů PIC16F887 v pouzdře 44-pin TQFP [26]

7 . Konstrukční zapojení testeru OZ typu 1458



Obr.č.: 7.1 Konstrukční zapojení testeru OZ typu 1458

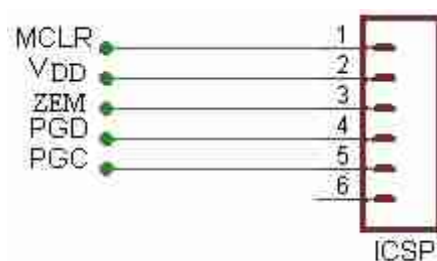
Zapojení na obr.č.: 7.1 zobrazuje výsledné zapojení testeru OZ typu 1458, v němž jsou využity poznatky z předchozích kapitol. Přípravek je konstruován na napájecí napětí $U_{CC} = 10\text{ V}$ deklarované jako minimální napájecí napětí pro správnou funkci OZ 1458. Toto je přivedeno vnějším napájecím zdrojem. Tester obsahuje součástky PIC16F887, MAX 4070 a MAX 548A, u nichž je zapotřebí napájecí napětí $U_{NAPAJECI} = 5\text{ V}$. Konverzi a stabilizaci zajistí stabilizátor 7805 [28].

Tester se zapíná tlačítkem. Po dobu stisku tlačítka svítí D2 LED v barvě zelené pro signalizaci stavu ZAPNUTO a probíhá otestování vloženého OZ typu 1458. Výsledkem testu je světelná signalizace. Pro správnou funkci se rozsvítí D3 LED v zelené barvě. Špatnou funkci OZ 1458 reprezentuje D1 LED v červené barvě. Přerušením stisku tlačítka se tester vypíná. Testovaný OZ typu 1458 je nutno vložit do patice SOKL8 před stisknutím tlačítka. Vyjmutí je možné po vypnutí testeru.

7.1 . Programování PIC16F887 přes ICSP (In-Circuit serial Programing)

Tester OZ typu 1458 využívá mikrokontrolér PIC16F887. Tento mikrokontrolér umožňuje naprogramování přímo v obvodu, v němž je zapojen a zapájen. Mikrokontrolér v SMD pouzdře je bez použití ICSP zapotřebí naprogramovat před osazením. Změna programu je proto problematická. Výhody při používání ICSP programování jsou tedy zřejmé. Z testeru OZ typu 1458 využívajícího ICSP se stává vývojový prostředek schopný měnit své vlastnosti na základě změny programového vybavení.

Pro možnost ICSP je nutné propojit mikrokontrolér s programovacím zařízením pomocí 5 vodičů viz obr.č.: 7.2.



Obr.č.: 7.2 ICSP konektor

Zapojení vodičů pro mikrokontrolér PIC16F887 [26] viz obr.č.: 6.2 :

- vodič *MCLR* – pin 18
- vodič *V_{DD}* - pin 7, pin 28
- vodič *Zem* – pin 6, pin 29
- vodič *PGD* – pin 17
- vodič *PGC* – pin 16

8 . Programové vybavení testeru OZ typu 1458

Mikrokontroléry PIC od společnosti Microchip [29] jsou zařízení programovatelné pomocí instrukční sady jazyku assembler. Často je práce s assemblerem značně neefektivní, a proto je vhodné pro vývoj softwaru použít některý z dostupných překladačů z jazyka C. Programování samotného mikrokontroléru pak probíhá v jazyce C. Vhodným překladačem a kompilátorem jazyka C do assembleru je CCS C compiler od společnosti Custom Computer Services [30]. Překladač je plně podporován vývojovým prostředím MPLab společnosti Microchip. V prostředí MPLab dochází k psaní zdrojového kódu v jazyce C a následným překladem je možné přes připojený programátor naprogramovat připojené zařízení testeru OZ typu 1458 s možností ICSP.

Zvolený CCS C compiler má řadu výhod v podobě již napsaných knihoven pro snadné ovládání jednotlivých funkcí mikrokontrolerů jako je ovládání SPI, snadné použití AD převodníků, nastavování portů atd.. Přehledně je napsaný také uživatelský manuál [31].

Struktura obslužného programu testeru OZ typu 1458 viz P 2. Stisknutím tlačítka dojde k zapnutí testeru. Mikrokontrolér provede inicializaci a nastavení vstupních podmínek. To vše za rozpojeného releového spínače. Po následném sepnutí releového spínače může při vadném kusu OZ 1458 procházet nadměrný proud přes napájecí svorku OZ 1458. Tento proud je nutné detekovat. V případě nadměrného proudu je releový spínač rozepnut pro šetrné zacházení s obvodem. Nadměrný proud je vyhodnocen signálem VADA. Dojde k ukončení testu.

Není-li detekován nadměrný proud na napěťové svorce, tester testuje neinvertující vstupy OZ 1458 na nadměrné proudy. Dojde-li k detekci nadměrných proudů, tester rozepne releový spínač. Nadměrný proud je vyhodnocen signálem VADA. Dojde k ukončení testu.

Nejsou-li detekovány nadměrné proudy na vstupech, tester vstupuje do hlavní testovací smyčky. V hlavní smyčce dochází k nastavování vstupního napětí na neinvertujícím vstupu neinvertujícího zesilovače s OZ typu 1458. Různé hodnoty napětí testují možnou chybu zesílení. Vstupní napětí je nastavováno od $U_{IN} = 2 \text{ V}$ do $U_{IN} = 3 \text{ V}$ po $0,2 \text{ V}$. Je provedeno 5 testů pro detekci chyby zesílení. V rámci každého takto nastaveného vstupního napětí U_{IN} dojde k měření nadměrných proudů. Objeví-li testovací program nacházející se v hlavní testovací smyčce chybu na OZ 1458, nedochází k ukončení testu. Tester testuje dále, dokud počet takto odhalených chyb není více než 2. Tolerance 2 chyb je stanovený limit pro výskyt náhodné chyby při měření.

V hlavní testovací smyčce dochází k velkému počtu měření, možný výskyt vady OZ typu 1458 by znamenal větší počet chyb měření, než stanovený limit 2. Program opouští hlavní smyčku po ukončení všech testů nebo je-li počet nalezených chyb více než 2.

Následuje závěrečné vyhodnocení a světelná signalizace stavu OZ 1458. Po ukončení testu není třeba dále napájet OZ typu 1458, dochází k rozpojení releového spínače. Mikrokontrolér vchází do nekonečné smyčky. K vypnutí testeru dojde uvolněním tlačítka. Detailní popis programu viz P 2.

9 . Výroba testeru OZ typu 1458

Deska plošných spojů (DPS) testeru je vytvořena ve virtuální podobě pomocí programového vybavení Eagle 5.0. Pomocí stejného programu je vytvořeno také schéma zapojení testeru viz obr.č.: 7.1.

Požadované rozměry DPS jsou 88 mm x 58 mm s technickým okolím. Rozměr DPS bez technického okolí, v němž jsou navrtané otvory rozměru M3 pro distanční sloupky, je 80mm x 50 mm. Pro DPS je použit oboustranně plátovaný základní substrát z materiálu FR-4 považovaný v dnešní době za standart. Součástky pro tester byly voleny s ohledem na možnost povrchové montáže.

Výsledné rozmístění spojů a součástek podle schématu zapojení viz obr.č.: 7.1 je na obr.č.: 8.1. Při návrhu layoutu byl brán ohled na intuitivní zacházení s konstruovaným zařízením. Rozměry vodičů jsou 0,3 mm pro spoje s koncovým pouzdrem uMAX, 0,5 mm ostatní spoje. Prokovy DPS testeru jsou tvořené vrtáním 0,8 mm, průměr kruhové plošky 2 mm. Rozměry pouzder jsou dle zadaných doporučení jednotlivých výrobců z datasheetů součástek. Filmová předloha pro výrobu DPS viz P 1.1, 1.2.

Postup výroby DPS testeru OZ typu 1458 :

1. Oboustranně plátovaný substrát FR – 4 je pokryt vrstvou oxidů a mastnot, které snižují přilnavost fotorezistu a zhoršují kvalitu leptání. Je důležité takto nevhodný povrch odstranit. K odstranění byl použit jemný brusný válec. Opakovaným obrusem a postupným oplachem vodou došlo k očištění povrchu substrátu. Operace čištění viz P 1.3 .
2. Po očištění substrátu je nutné substrát osušit suchým horkým vzduchem v sušičce při teplotě $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Operace sušení viz P 1.4.
3. Osušená a ohřátá deska je připravena k nanesení fotorezistu. Bude použit negativní tuhý fotorezist se sendvičovou strukturou. V místnosti práce s fotorezistem je požadováno žluté osvětlení, které nezpůsobí osvit fotorezistu. Fotorezist je nanesen ve dvou krocích. Nejdříve z horní strany substrátu a následně po odstranění krycího papíru i na spodní stranu substrátu. Operace nanesení fotorezistu viz P 1.5, 1.6.

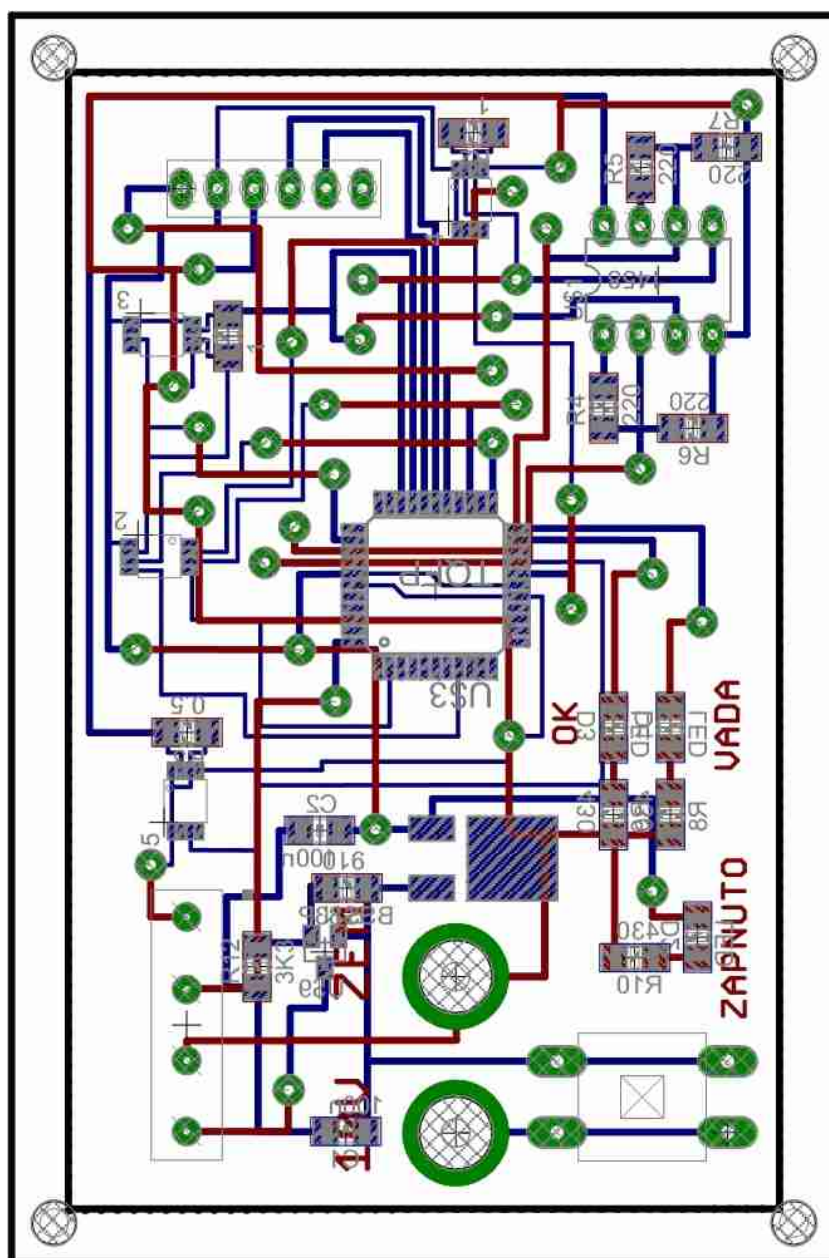
4. Po nanesení fotorezistu je vhodné počkat 10 minut pro dostatečné přilnutí fotorezistu k povrchu substrátu
5. Následuje osvit UV světlem přes přiloženou a sesouhlasenou negativní filmovou předlohu. Operace osvitu viz P 1.7, 1.8, 1.9.
6. Po expozici je nutné počkat 15 minut, v této době dochází k reakci polymerizace uvnitř negativního fotorezistu na osvícených místech
7. Fotorezist je kryt průhlednou separační fólií. Tato fólie musí být odstraněna z obou stran naexponované desky. Následuje vyvolání ve vývojkové lázni hydrogenuhličitanu sodného ($NaHCO_3$) po dobu 10 minut. Odplavení fotorezistu v P 1.10.
8. Následuje oplach vodou a ponoření do leptací lázně kyseliny chlorovodíkové (HCl) s peroxidem vodíku (H_2O_2). Leptací lázeň působí na odkrytou měď, z níž byl odplaven fotorezist v minulém technologickém kroku. Místa krytá nadále fotorezistem jsou odolná proti leptací lázni. Leptání probíhá 5 – 10 minut v závislosti na koncentraci leptací lázně. Následuje důkladný oplach vodou. Operace leptání v P 1.11.
9. Po leptací lázni je vytvořen požadovaný motiv, který je stále potažen fotorezistem. Pro další operace je důležité fotorezist odstranit. Odstranění probíhá odstripováním fotorezistu ponořením do stripovací lázně. Čas potřebný k odstripování se pohybuje v rozmezí 10 minut – 20 minut. Odstripování viz P 1.12, 1.13.
10. Posledními operacemi jsou důkladný oplach vodou, sušení v sušičce, vrtání děr a úprava rozměrů stolními nůžkami. Výsledkem je zhotovená DPS připravená k osazení. Dokončovací práce na DPS viz P 1.14, 1.15, 1.16.

Seznam použitých součástek pro tester OZ typu 1458 viz P 4.

Postup osazení DPS testeru OZ typu 1458 :

1. Pro osazení DPS součástkami SMD je použit osazovací poloautomat společnosti DIMA. Upnutím DPS zajistíme nepohyblivost DPS po pracovní ploše. Osazení probíhá ze spodní strany DPS, kde se nachází největší počet SMD součástek. Osazovací hlavice pracuje ve dvou režimech – disperzer pájecí pasty a vakuový podavač. V první fázi je nutné nastavit dávkování pasty. Následuje nanesení vhodného množství olovnaté pájecí pasty na plošky DPS. Nanesení pájecí pasty viz P 1.17, 1.18.
2. Do nanesené pasty se osadí součástky SMD pomocí osazovací hlavice v režimu podavače. Osazená DPS viz P 1.19.
3. Osazená DPS SMD součástkami ze spodní strany je připravena na přetavení. Přetavení pasty probíhá v přetavovací 3 zónové peci. Po průjezdu pecí dochází ke chlazení DPS. Přetavovací pec viz P 1.20., DPS po přetavení viz P 1.21.
4. Osazení horní strany DPS SMD součástkami a zbytku součástek jiných než SMD pomocí minivlny. Na pájené místo je nutno nanést tavidlo a posléze je možné pájet dané místo eutektickou pájkou SnPb.
5. Pájení prokovů.
6. Čištění DPS od tavidlových zbytků z důvodu zamezení další reakce tavidla se spoji a povrchem DPS. Použito čisticího izopropyl alkohol. Výsledná DPS viz P 1.22, 1.23, 1.24, 1.25.
7. Následuje proměření výsledné DPS, odhalování možných zkratů a defektů.

Připojením testeru k programátoru a nahrání programu do mikrokontroléru je tester OZ 1458 připraven k použití.



Obr.č.: 8.1 Návrh layoutu DPS testeru OZ typu 1458 bez měřítka

10 . Závěr

V rámci bakalářské práce je navržen, zkonstruován a naprogramován funkční tester OZ 1458. V práci jsou stanoveny detekční limity nadměrných proudů vycházející z pochopení funkčnosti operačního zesilovače typu 1458 a zvolena vhodná metoda pro měření malých stejnosměrných proudů.

Pro detekci chyby zesílení je využito signálové zpětné vazby. Tato metoda je pro testování rychlá a efektivní. Výhodou také je, že není potřeba testovat nadměrné proudy z výstupu a invertujícího vstupu OZ 1458. Dosáhlo se úspor čtyř proudových senzorů. K nastavení vstupní podmínky pro detekci chyby zesílení je použit DA převodník. K měření napětí je využito AD převodníků mikrokontroléru.

Pro šetrné zacházení s obvody je použit PMOS tranzistor jako proudový omezovač. Releový spínač je použit pro automatické odepnutí napájecí svorky OZ 1458 v případech vyhodnocení vady a omezení namáhání PMOS tranzistoru i dalších obvodů.

Řídící jednotkou testeru je mikrokontrolér PIC16F887. Je popsána funkce programu testeru OZ typu 1458. Zdrojový kód programu je napsán v jazyce C a přeložen kompilér od společnosti CCS.

V bakalářské práci je zdokumentována výroba DPS pro tester OZ typu 1458 i osazení DPS součástkami.

Zadání bakalářské práce bylo splněno.

11 . Seznam použité literatury

- [1] *LM1458* [online]. rev 1.0.1. [s.l.] : [s.n.], 2001, 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.fairchildsemi.com/pf/LM/LM1458.html>>.
- [2] *TI.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka Texas Instruments. Dostupné z WWW: <<http://www.ti.com/>>
- [3] *ON SEMICONDUCTOR* [online]. 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka ON SEMI. Dostupné z WWW: <<http://www.onsemi.com/PowerSolutions/home.do>>.
- [4] *Fairchild semiconductor* [online]. 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka Fairchild semiconductor. Dostupné z WWW: <<http://www.fairchildsemi.com/>>
- [5] *Samsung.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka Samsung. Dostupné z WWW: <<http://www.samsung.com/>>.
- [6] *Motorola* [online]. 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka Motorola. Dostupné z WWW: <<http://www.motorola.com/>>.
- [7] *SimulinkR -SPICE-Interface* [online]. Německo : BAUSCH-GALL GmbH, 3.11.2004 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.bausch-gall.de/slspsdbi.pdf>>
- [8] *MC1458* [online]. Revised 10.2002. Dallas : Texas Instruments, 1971 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/mc1458.pdf>>
- [9] BIOLEK, Dalibor; HÁJEK, Karel; KRTIČKA, Antonín. *Analogové elektronické obvody. Přednášky*. Brno : VUT, 2007. 264 s.
- [10] *MAX548A* [online]. rev 0. USA : Maxim Integrated Products , 1997 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX548A-MAX550A.pdf>>.
- [11] *Maxim Integrated products* [online]. USA : Maxim Integrated products, 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka . Dostupné z WWW: <<http://www.maxim-ic.com/>>
- [12] TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Externí sériové sběrnice SPI a I2C* [online]. Česká republika : 30. 12. 2008 [cit. 2010-05-27]. ROOT.CZ. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>>.
- [13] VOJÁČEK, Antonín. *Integrované senzory proudu a problematika použití – 1. část* [online]. Česká republika : 2. Únor 2009 [cit. 2010-05-27]. Automatizace.hw.cz. Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/integrované-senzory-proudu-a-problematika-použití-1část>>
- [14] Honeywell Česká republika, Honeywell Aerospace, s.r.o. V parku 2325/16, 148 00 Praha-Chodov, *Snímače elektrického proudu s hallovou sondou*, 11s.
- [15] FRIEDRICH, P., Andreas; LEMME, Helmut. *The Universal current sensor* [online]. SENSORMAG.COM . Březen 2000, [cit. 10.12.2009], Dostupné z WWW: <http://www.sensormag.com/sensors/electric-magnetic/the-universal-current-sensor-1029>
- [16] *ACS714* [online]. Rev. 6. USA : Allegro MicroSystems, Inc., 2006 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/0714/0714.pdf>
- [17] *National Semiconductor* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Domovská stránka. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/analog>>
- [18] *Maxim Integrated products* [online]. USA : Maxim Integrated products, 2010 [cit. 2010-05-26]. Domovská stránka . Dostupné z WWW: <<http://www.maxim-ic.com/>>

- [19] *Analog Devices* [online]. USA : 2010 [cit. 2010-05-27]. Domovská stránka. Dostupné z WWW: <<http://www.analog.com/en/index.html>>
- [20] *APPLICATION NOTE 746* [online]. 19. Listopad 2001 [cit. 2010-05-27]. MAXIM-IC.COM. Dostupné z WWW: <<http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/746>>.
- [21] *MAX4070* [online]. Rev. 3. USA : Maxim Integrated products, Listopad 2008 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX4069-MAX4072.pdf>>.
- [22] *KA1458* [online]. rev 1.0.1. USA : Fairchild semiconductor, 2001 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/KA1458.pdf>>.
- [23] *LM1458* [online]. USA : National Semiconductor, 2 - 1995 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS007886.PDF>>.
- [24] *BSS 83 P* [online]. Německo : Infineon technologies, září 1999 [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/infineon/1-bss83p.pdf>>.
- [25] *S1A050D00* [online]. Taiwan : Cosmo electronic, 2004 [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/634/634-072/dsh.634-072.1.pdf>.
- [26] *PIC16F887* [online]. USA : Microchip, 2009 [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291F.pdf>>.
- [27] *PIC16F690* [online]. USA : Microchip, 2009 [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41262E.pdf>>.
- [28] *MC7805* [online]. Rev 20. USA : Semiconductor Components Industries, 2009 [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC7800-D.PDF>>.
- [29] *Microchip* [online]. 2010 [cit. 2010-05-30]. Domovská stránka společnosti Microchip. Dostupné z WWW: <<http://www.microchip.com/>>.
- [30] *CCS* [online]. 2010 [cit. 2010-05-30]. Domovská stránka společnosti CCS. Dostupné z WWW: <<http://www.ccsinfo.com/>>.
- [31] *CCS C compiler reference manual* [online]. Spojené království : CCS, 2010 [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <http://www.ccsinfo.com/downloads/ccs_c_manual.pdf>.

Seznam použitých zkratek a symbolů

SMD – surface mounted devices, součástky určené pro povrchovou montáž

GND – ground, zem

SNR – signal to noise ratio, odstup signál šum

IO – integrovaný obvod

CMMR – common mode rejection ratio – potlačení souhlasného signálu

LSB – least signification bit – nejméně významný bit

MSB – most signification bit – nejvíce významný bit

úroveň L – logická úroveň 0

úroveň H – logická úroveň 1

AD převodník – analogově digitální převodník

UV – ultra fialové světlo

TOP – horní strana

BOTTOM – spodní strana

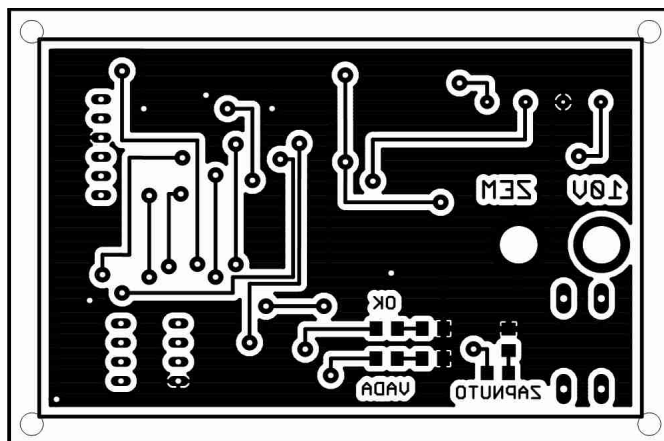
12 . Seznam příloh

P 1 : Obrazová dokumentace výroby DPS	55
P 1.1 : Filmová předloha TOP pro DPS testeru OZ typu 1458 v rozměru 1:1	
P 1.2 : Filmová předloha BOTTOM pro DPS testeru OZ typu 1458 v rozměru 1:1	
P 1.3 : Čištění substrátu	
P 1.4 : Sušení	
P 1.5 : Laminovací stroj pro nanesení fotorezistu	
P 1.6 : Nanesení fotorezistu probíhá vždy jednostranně, po nalaminování je nutné odstranit spodní krycí papírovou vrstvu	
P 1.7 : Mezi sesouhlasenou negativní filmovou předlohu se vhoží substrát s naneseným fotorezistem	
P 1.8 : Sesouhlasená filmová předloha se vloží se substrátem do expoziční jednotky s nastaveným osvitem $t = 18 \text{ s}$, dochází k expozici	
P 1.9 : Po expozici lze zpozorovat přenesený motiv do fotorezistu	
P 1.10 : Vyvolání fotorezistu v roztoku s jehlou sodou. Dochází k odplavení neosvětlených částí fotorezistu	
P 1.11 : Leptací lázeň, místa potažená fotorezistem jsou vůči leptací lázni odolná	
P 1.12 : Vyleptaný motiv potažený vrstvou fotorezistu	
P 1.13 : Odstripování fotorezistu ve stripovací lázni	
P 1.14 : Výsledná DPS z pohledu TOP po oplachu a osušení bez mechanického vrtání děr	
P 1.15 : Výsledná DPS z pohledu BOTTOM po oplachu a osušení bez mechanického vrtání děr	
P 1.16 : DPS testeru OZ typu 1458 po vyvrtání a úpravě rozměrů, připravena k osazení	
P 1.17 : Upevněná DPS v osazovacím poloautomatu připravená k nanesení pasty	
P 1.18 : DPS testeru OZ 1458 s nanesenou olovnatou pájecí pastou	
P 1.19 : Osazená DPS SMD součástkami ze spodní strany	
P 1.20 : Přetavovací pec	
P 1.21 : DPS testeru OZ typu 1458 po průjezdu pecí. Došlo k propojení součástek s DPS	
P 1.22 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled z horní strany	
P 1.23 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled ze spodní strany	
P 1.24 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled ze spodní strany – detail 1	
P 1.25 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled ze spodní strany – detail 2	
P 2 : Vývojový diagram programu testeru OZ typu 1458	68
P 3 : Zdrojový kod programu testeru OZ typu 1458 v jazyce C pro překladač CCS compiler	72
P 4 : Seznam použitých součástek	73

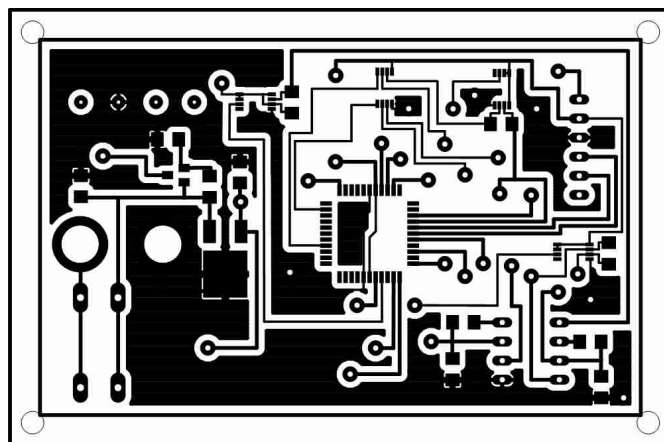
Přílohy

P 1 Obrazová dokumentace výroby DPS

P 1.1 : Filmová předloha TOP pro DPS testeru OZ typu 1458 v rozměru 1:1



P 1.2 : Filmová předloha BOTTOM pro DPS testeru OZ typu 1458 v rozměru 1:1



P 1.3 : Čištění substrátu



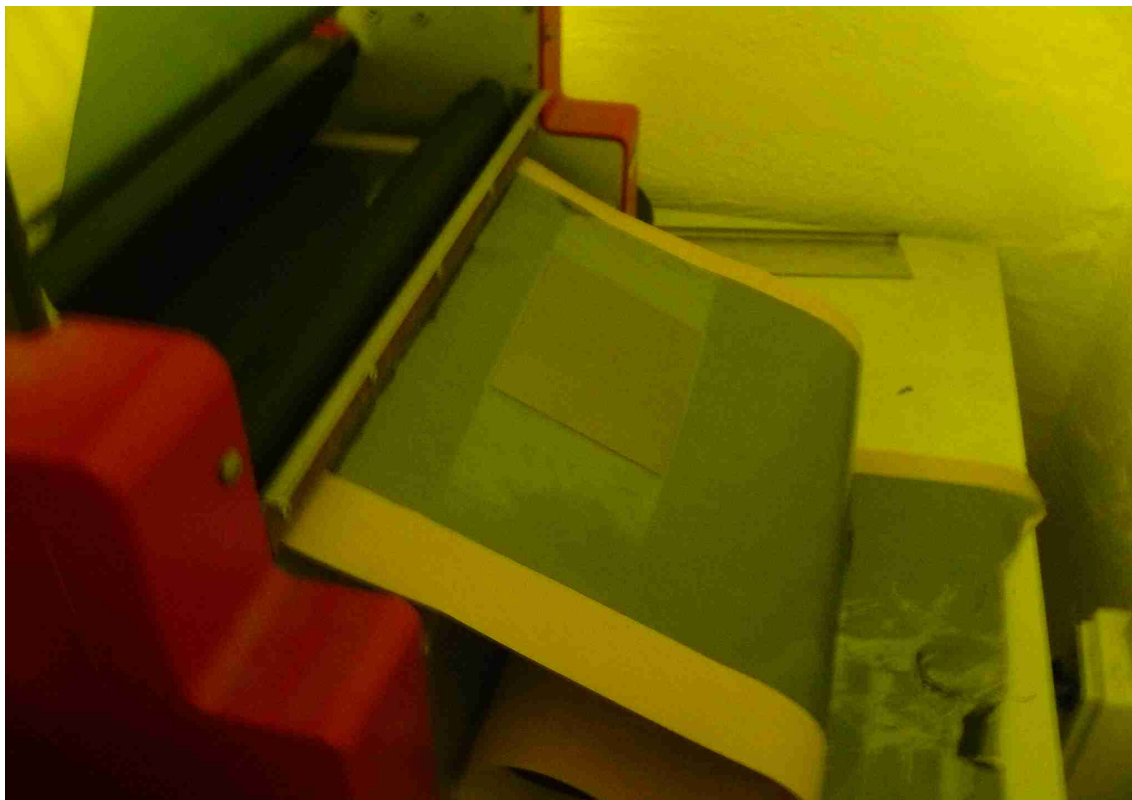
P 1.4 : Sušení



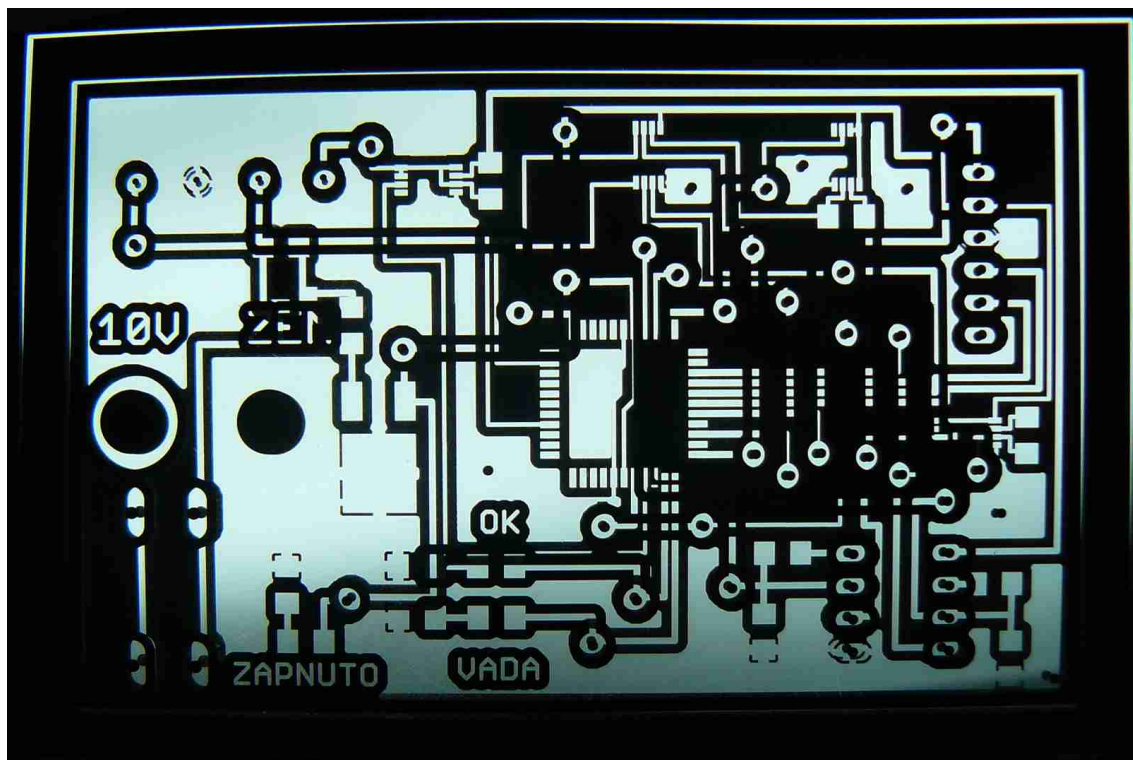
P 1.5 : Laminovací stroj pro nanesení fotorezistu



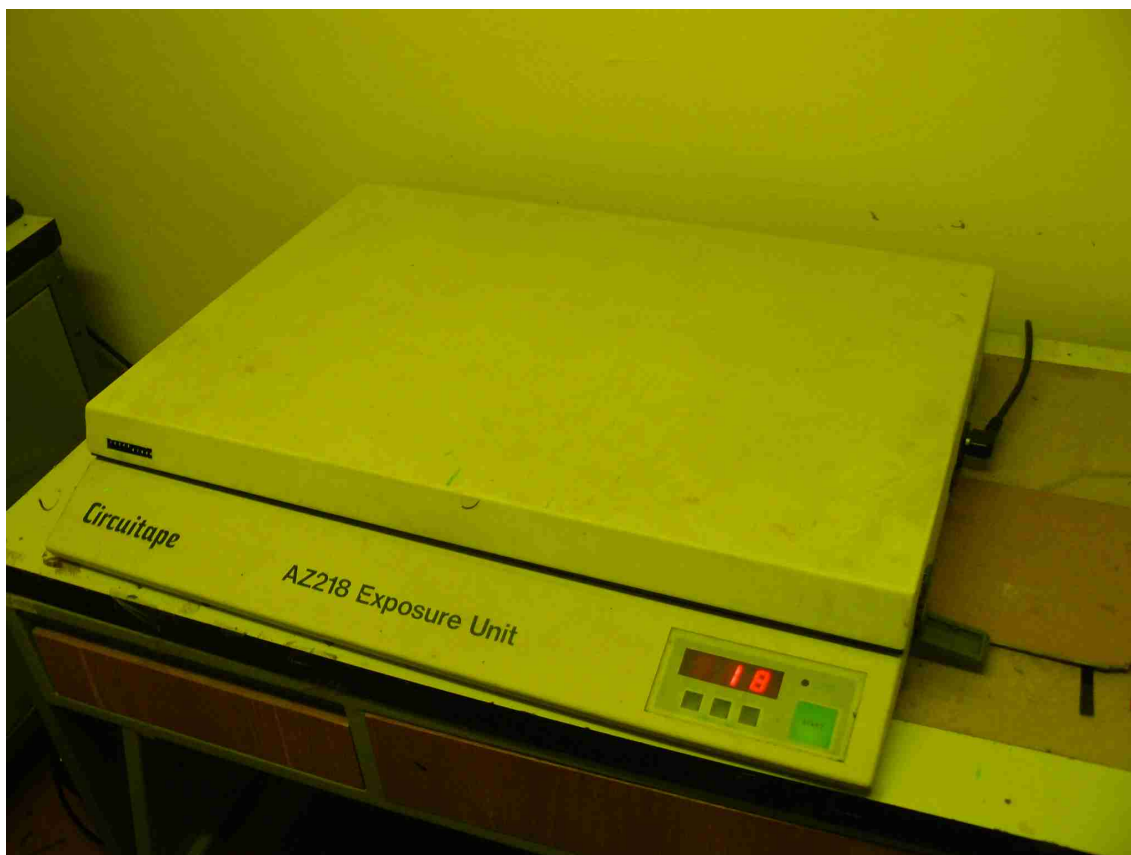
P 1.6 : Nanesení fotorezistu probíhá vždy jednostranně, po nalaminování je nutné odstranit spodní krycí papírovou vrstvu



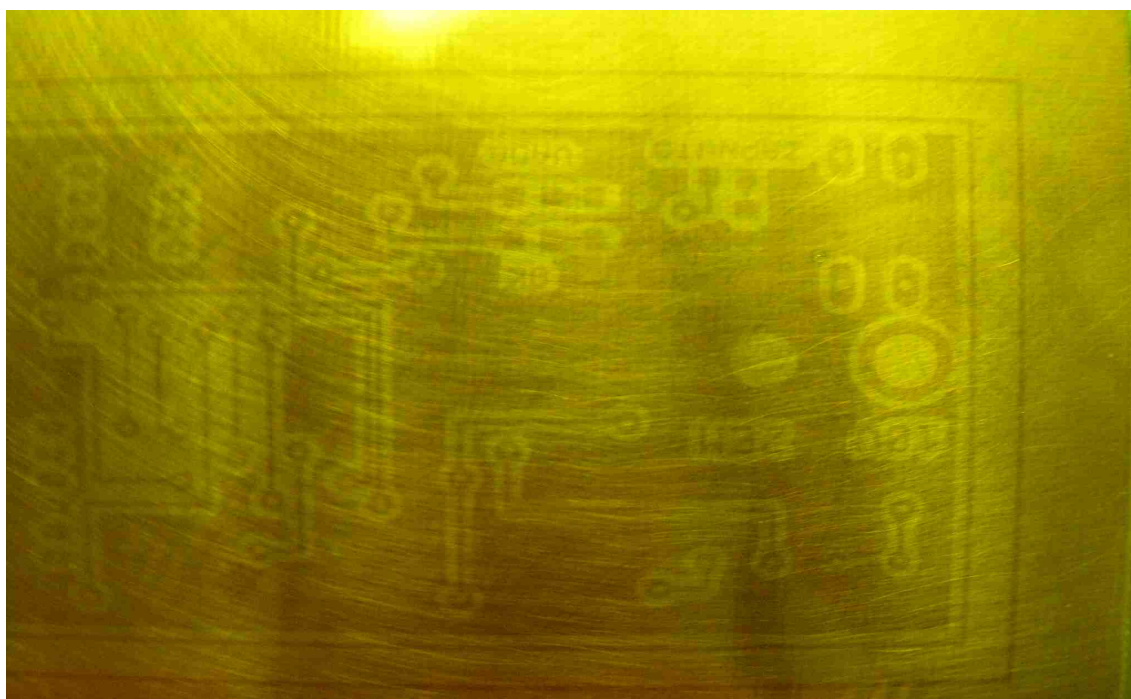
P 1.7 : Mezi sesouhlasenou negativní filmovou předlohu se vloží substrát s naneseným fotorezistem



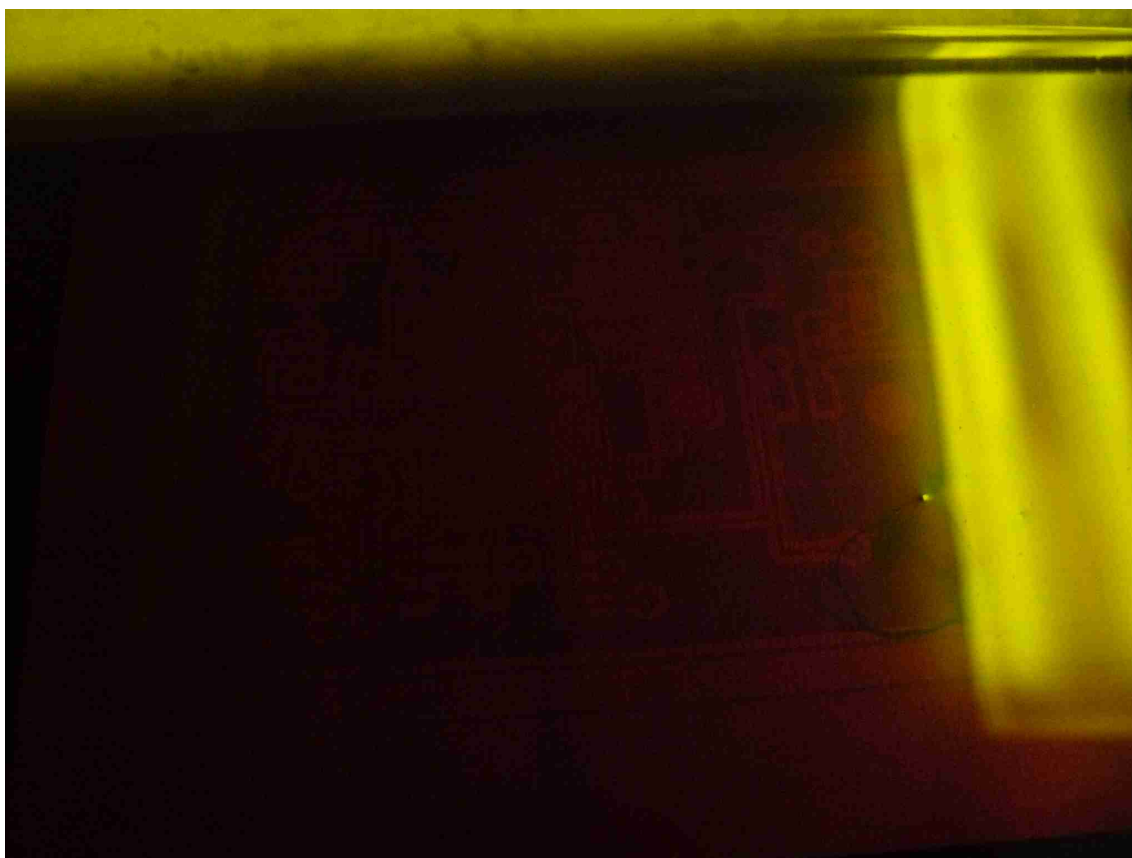
P 1.8 : Sesouhlasená filmová předloha se vloží se substrátem do expoziční jednotky s nastaveným osvitem
 $t = 18 \text{ s}$, dochází k expozici



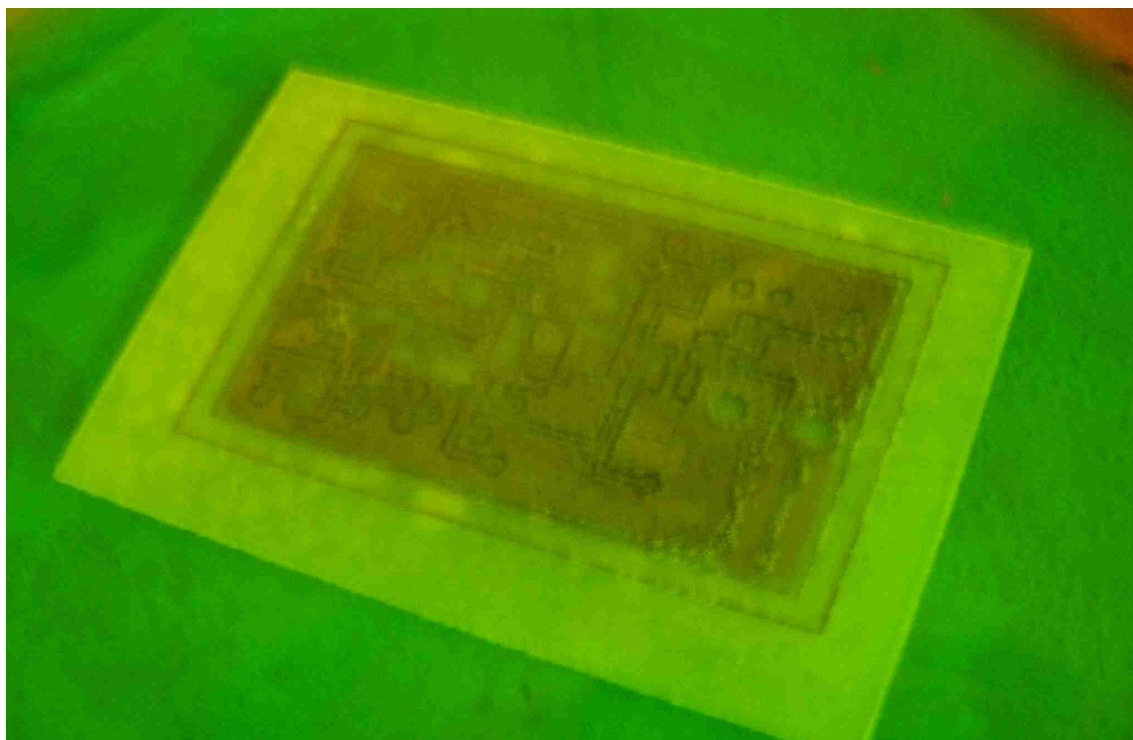
P 1.9 : Po expozici lze zpozorovat přenesený motiv do fotorezistu



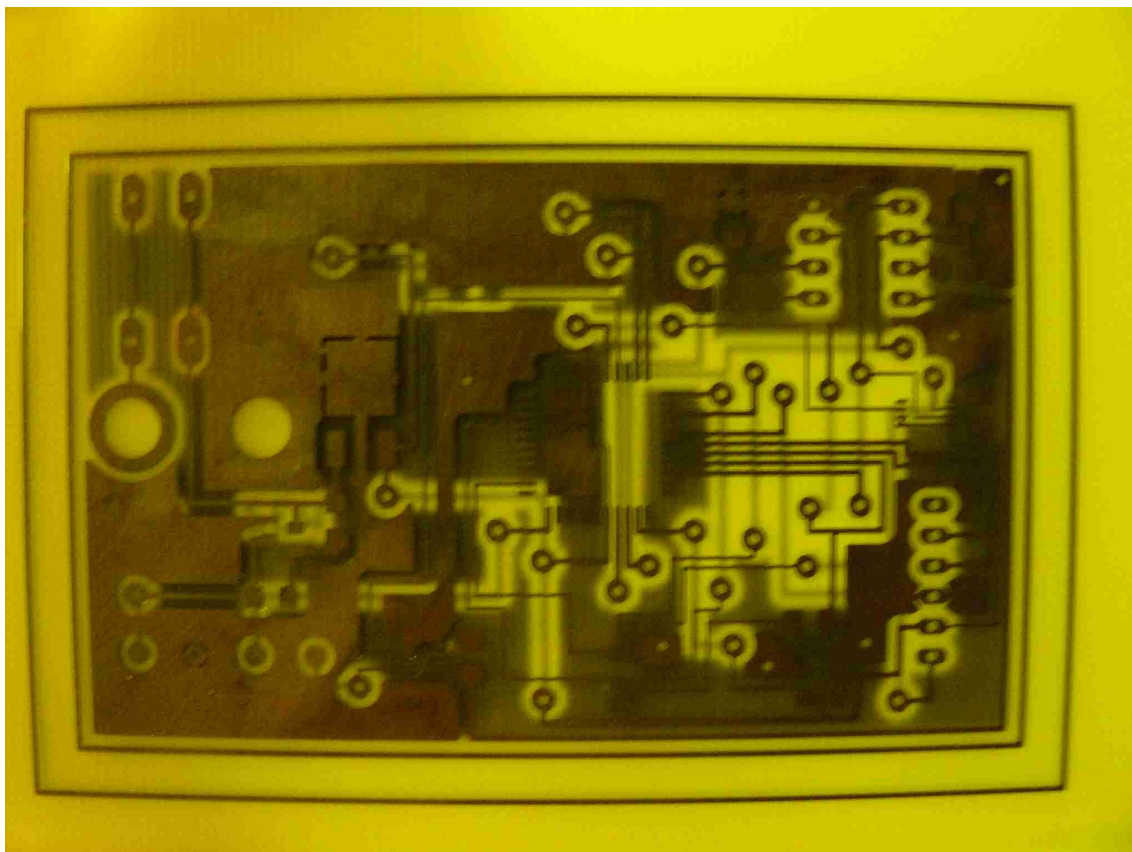
P 1.10 : Vyvolání fotorezistu v roztoku s jedlou sodou. Dochází k odplavení neosvětlených částí fotorezistu



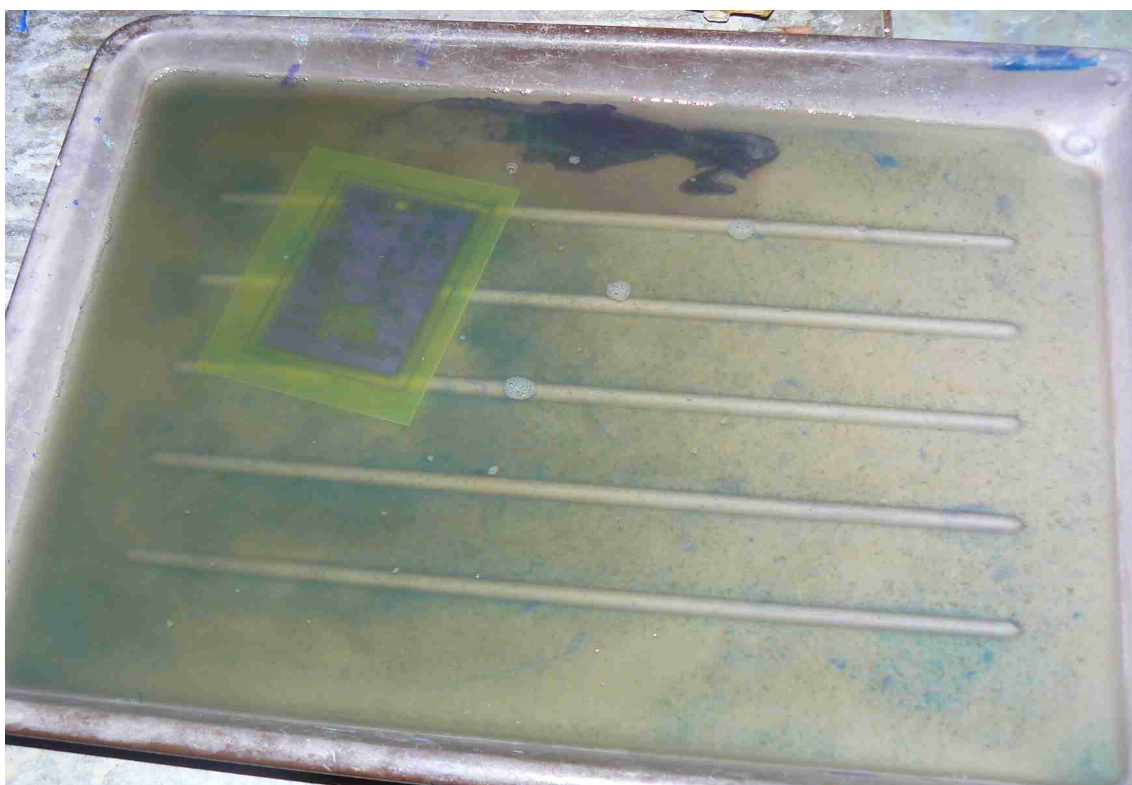
P 1.11 : Leptací lázeň, místa potažená fotorezistem jsou vůči leptací lázni odolná



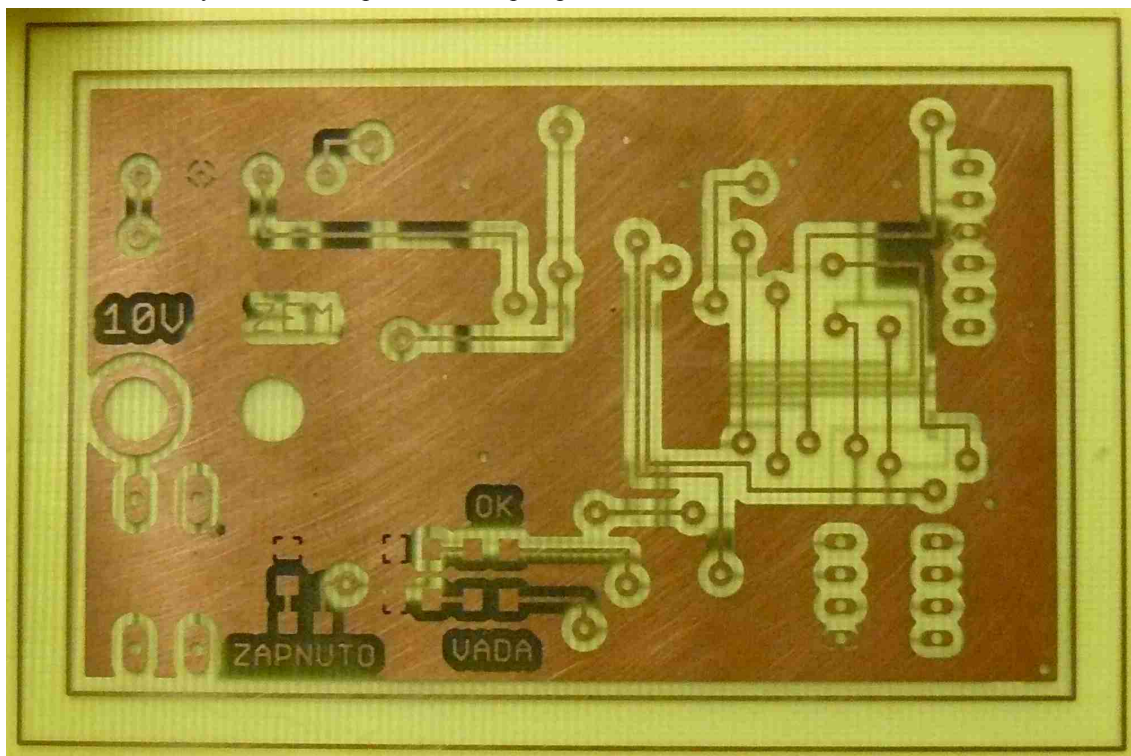
P 1.12 : Vyleptaný motiv potažený vrstvou fotorezistu



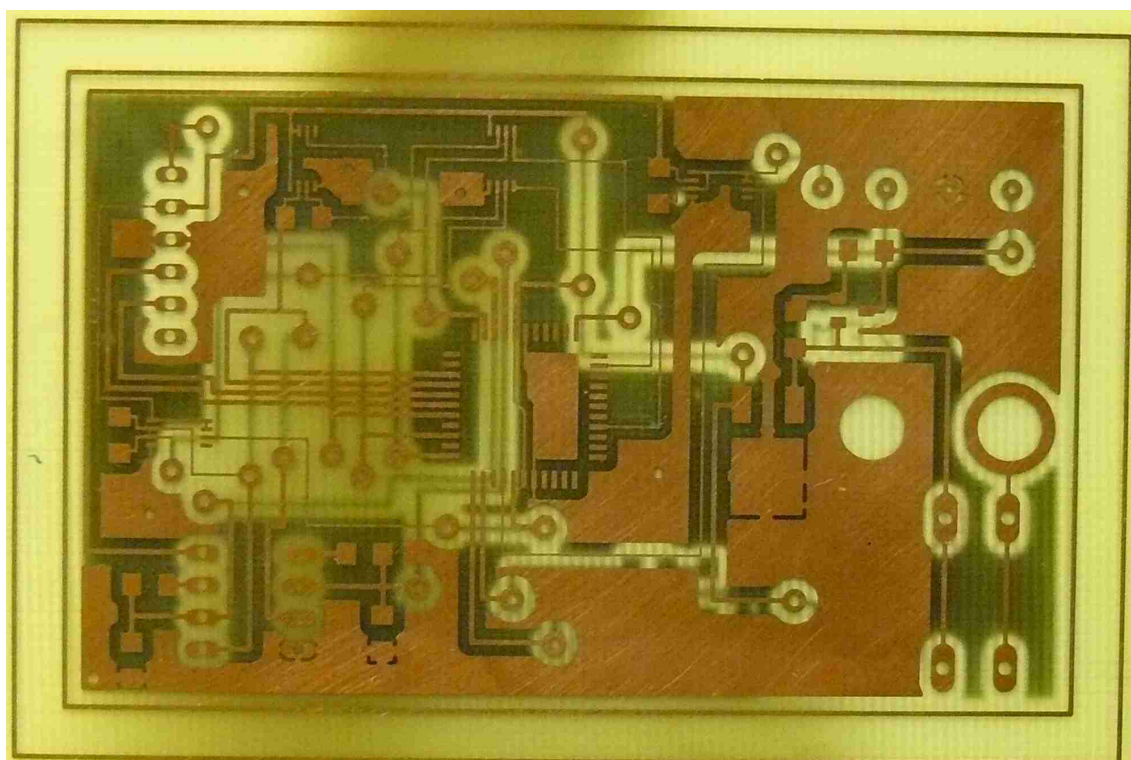
P 1.13 : Odstripování fotorezistu ve stripovací lázni



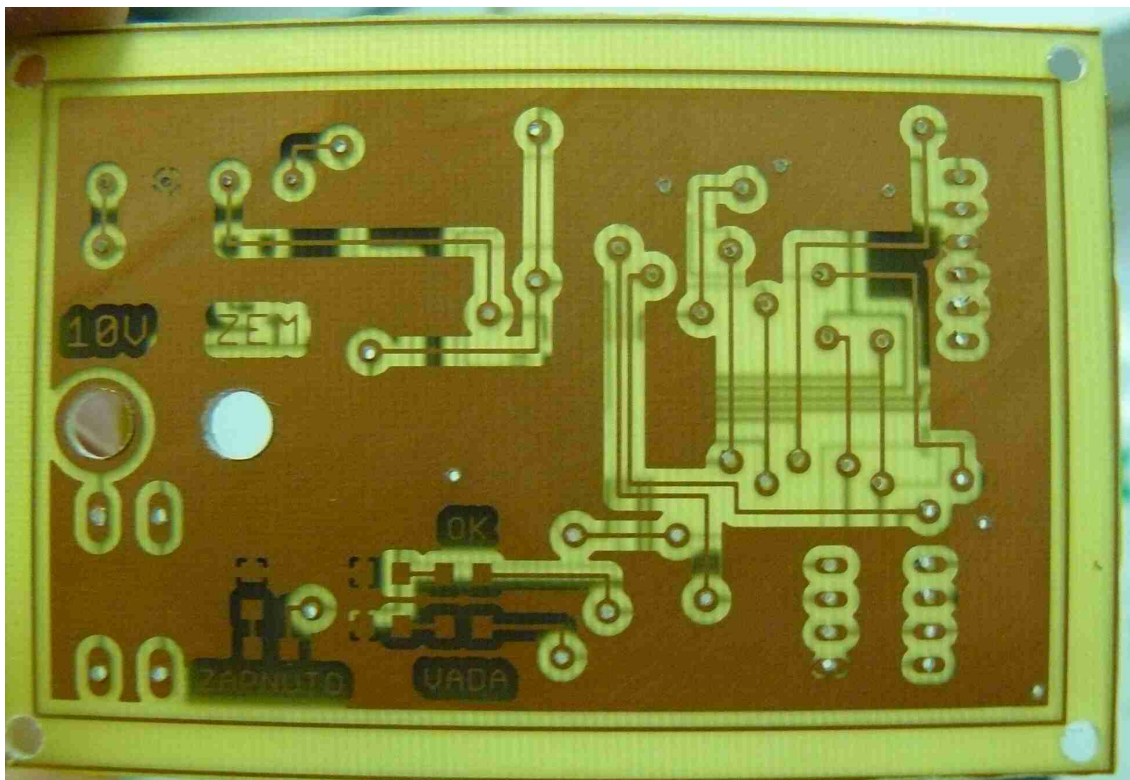
P 1.14 : Výsledná DPS z pohledu TOP po oplachu a osušení bez mechanického vrtání děr



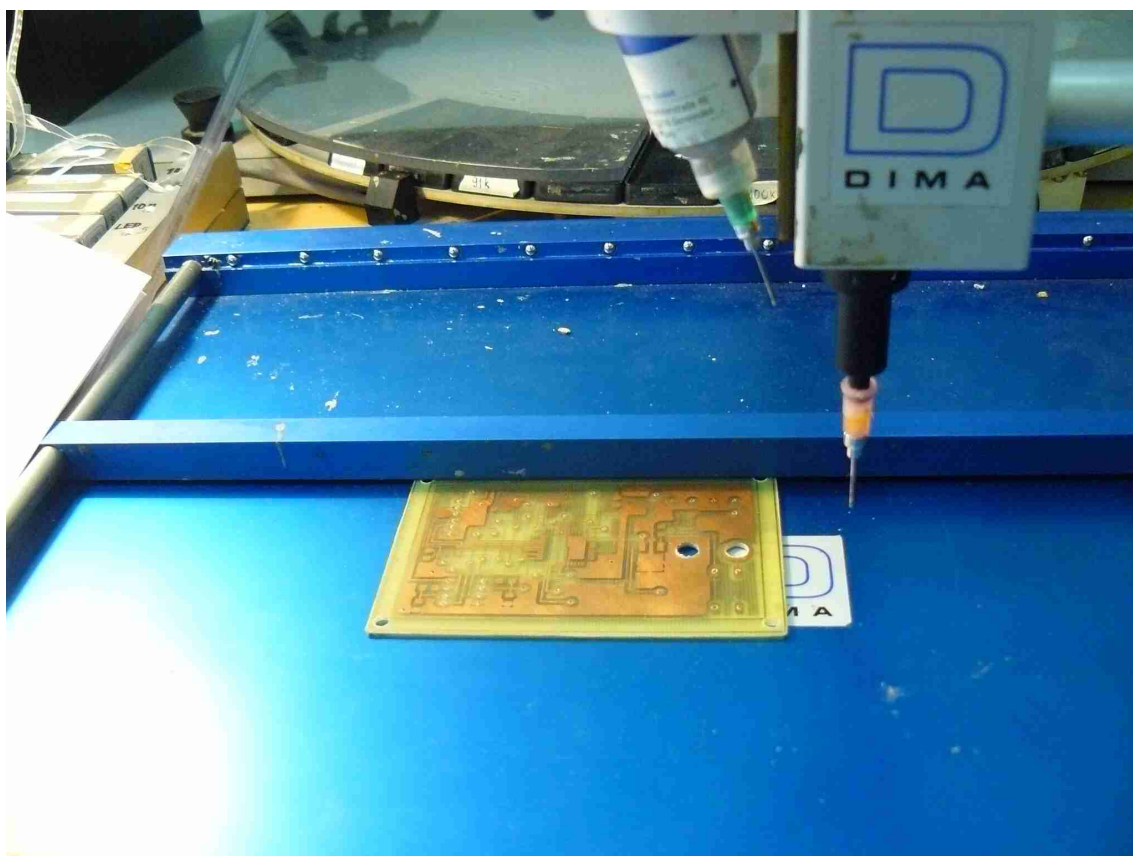
P 1.15 : Výsledná DPS z pohledu BOTTOM po oplachu a osušení bez mechanického vrtání děr



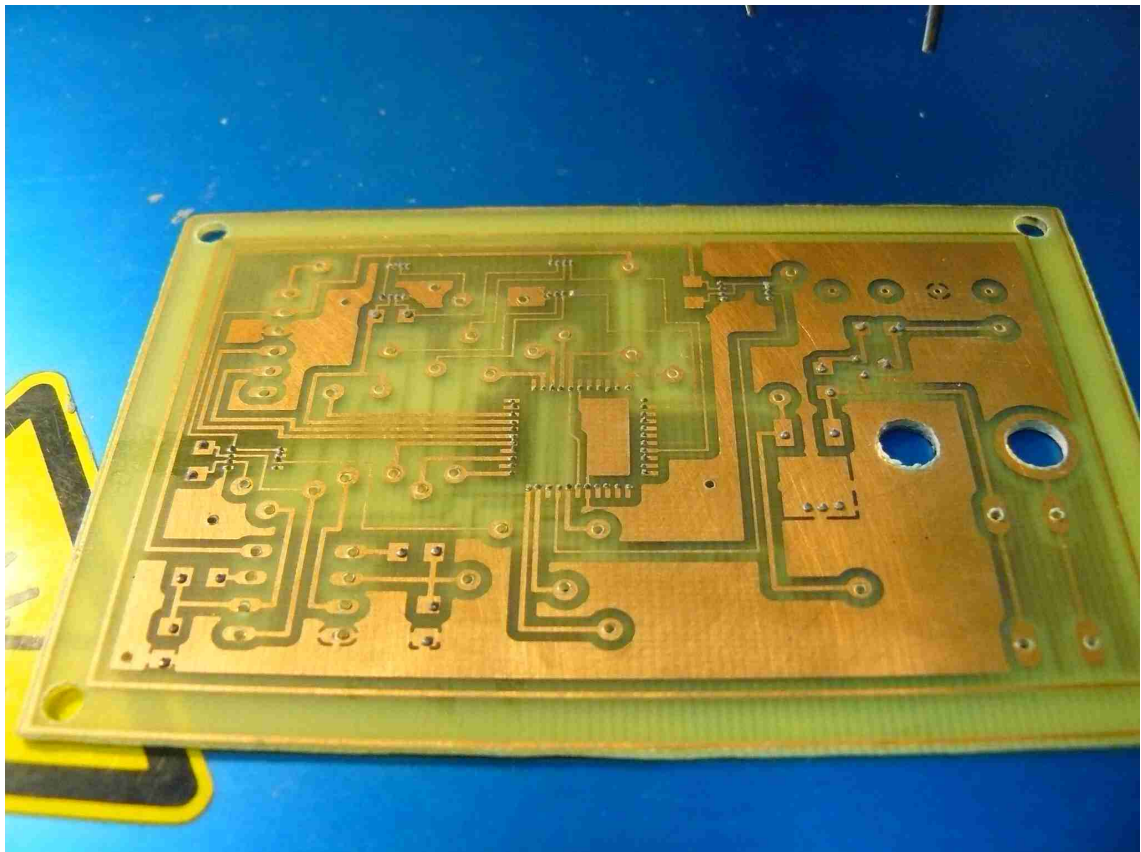
P 1.16 : DPS testeru OZ typu 1458 po vyvrtání a úpravě rozměrů, připravena k osazení



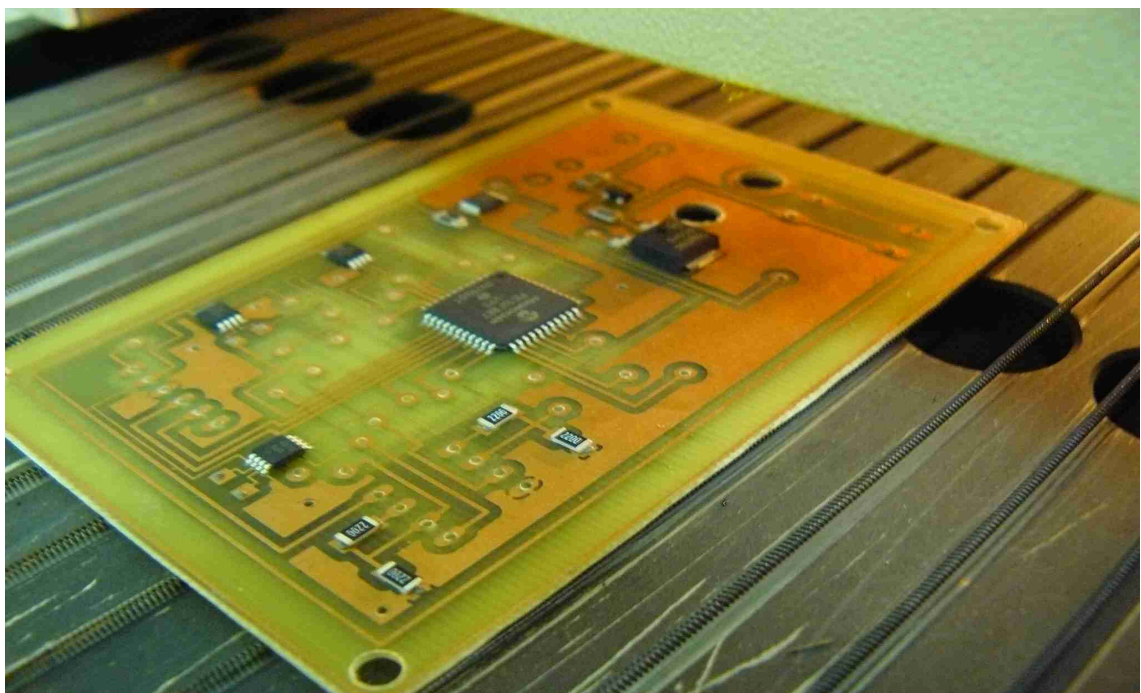
P 1.17 : Upevněná DPS v osazovacím poloautomatu připravená k nanesení pasty



P 1.18 : DPS testeru OZ 1458 s nanesenou olovnatou pájecí pastou



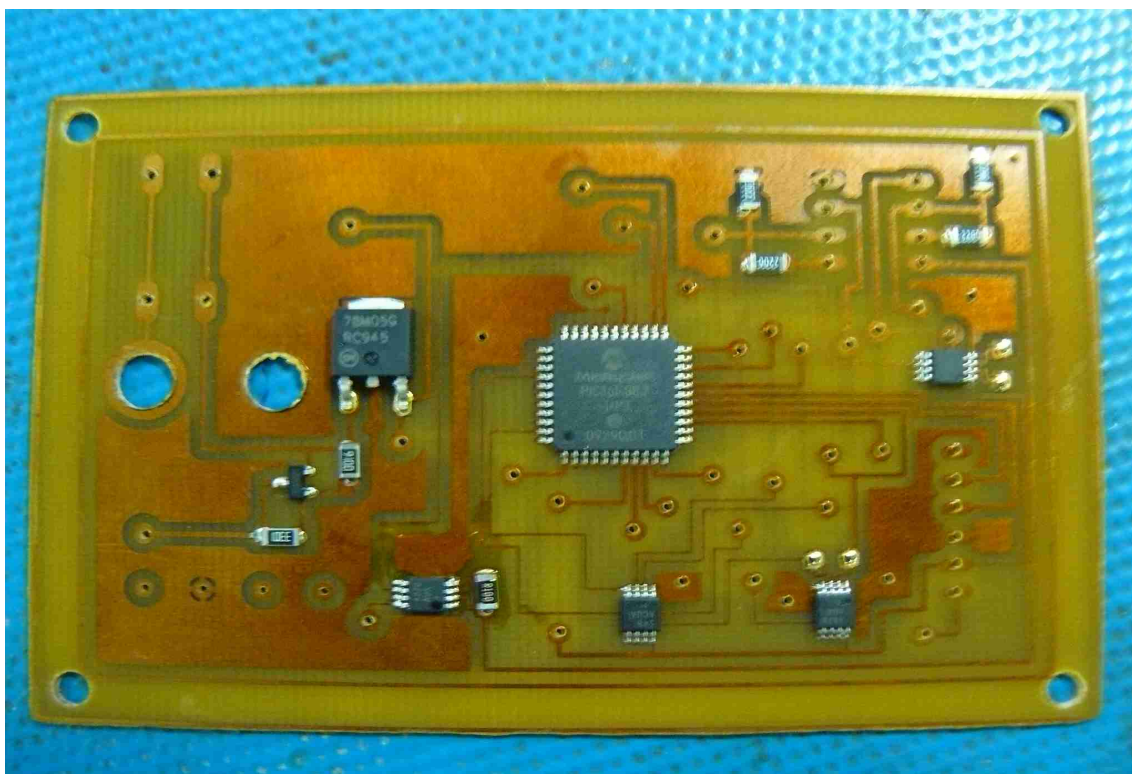
P 1.19 : Osazená DPS SMD součástkami ze spodní strany



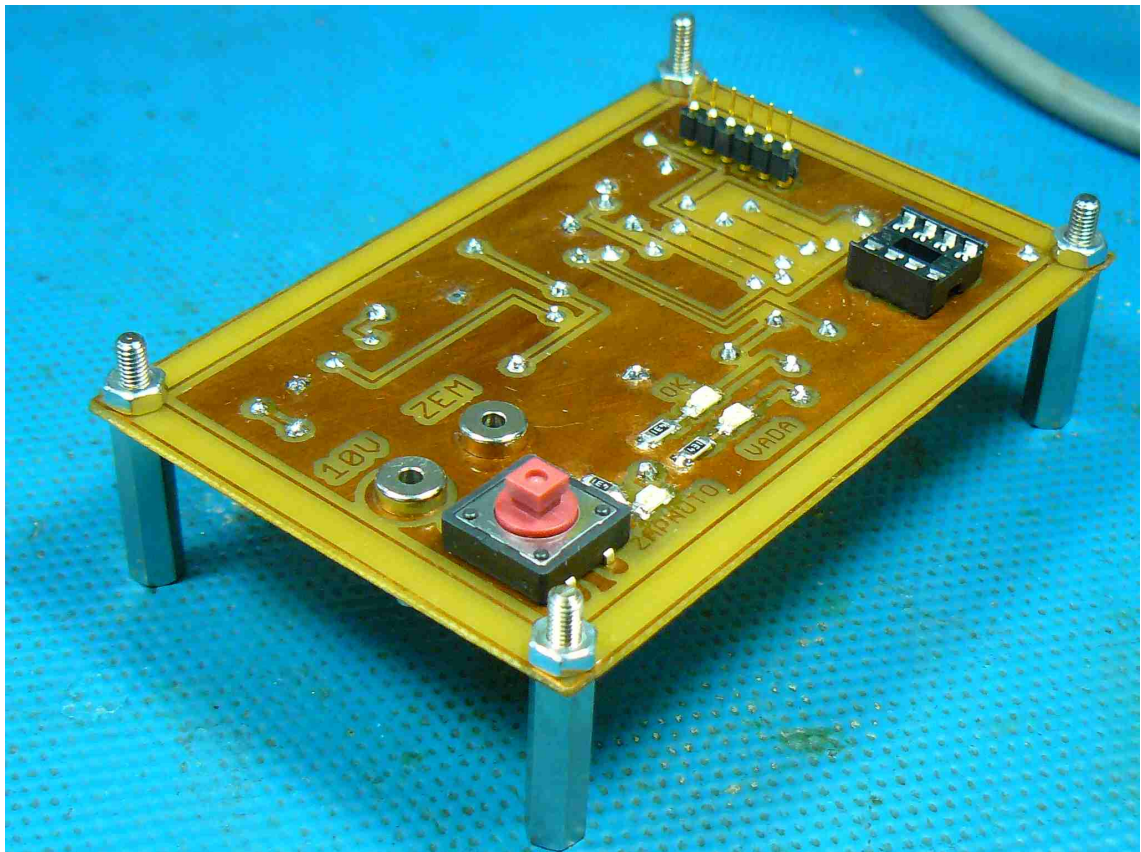
P 1.20 : Přetavovací pec



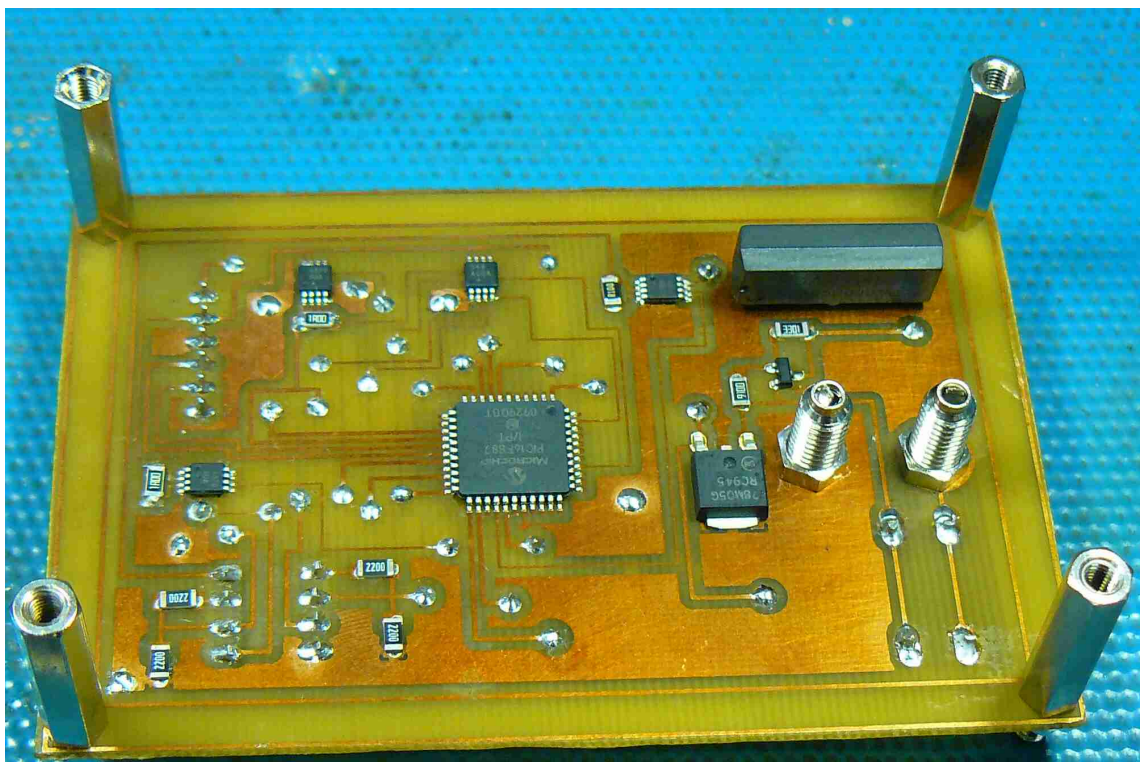
P 1.21 : DPS testeru OZ typu 1458 po průjezdu pecí. Došlo k propojení součástek s DPS



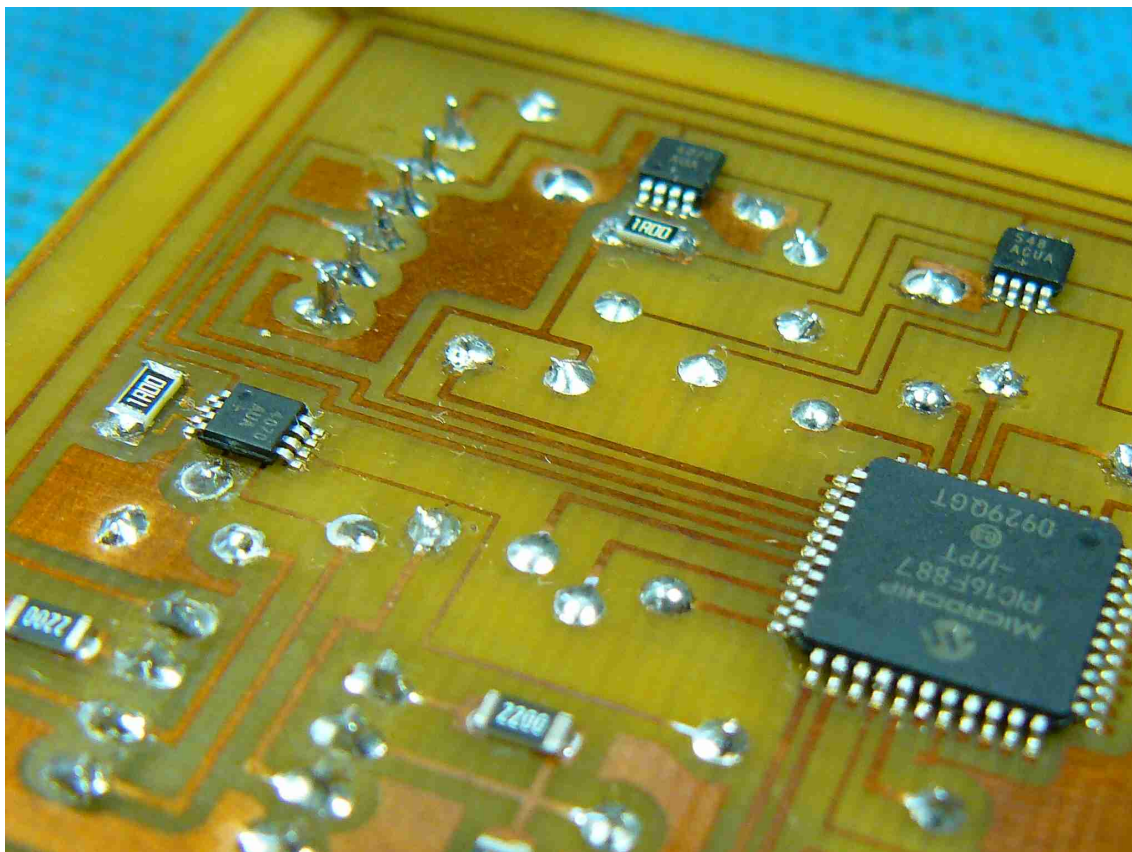
P 1.22 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled z horní strany



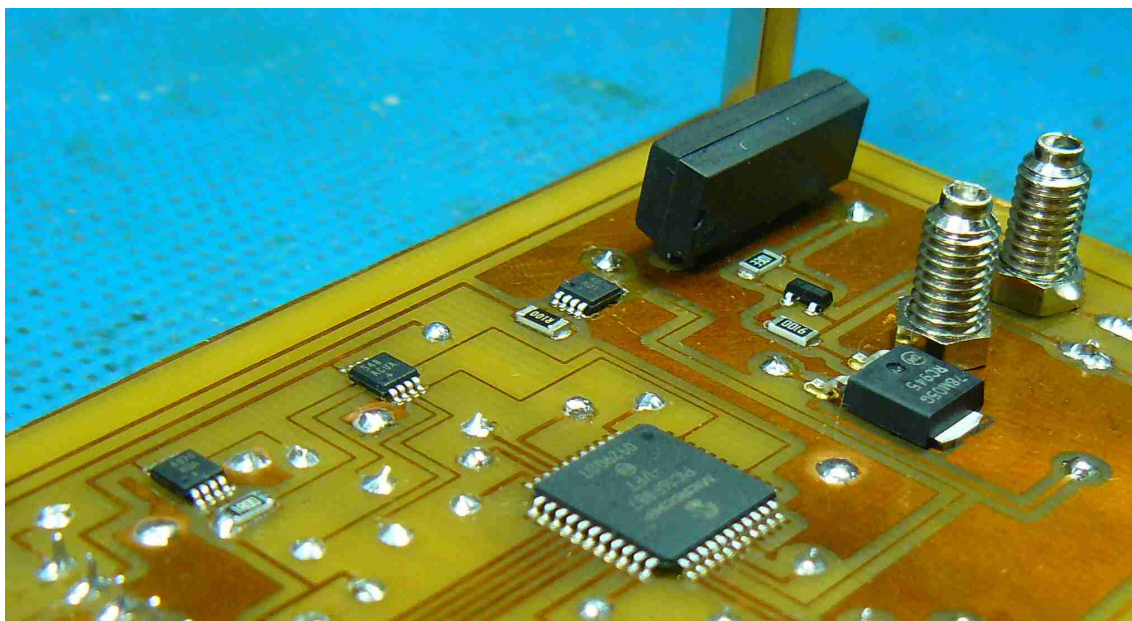
P 1.23 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled ze spodní strany



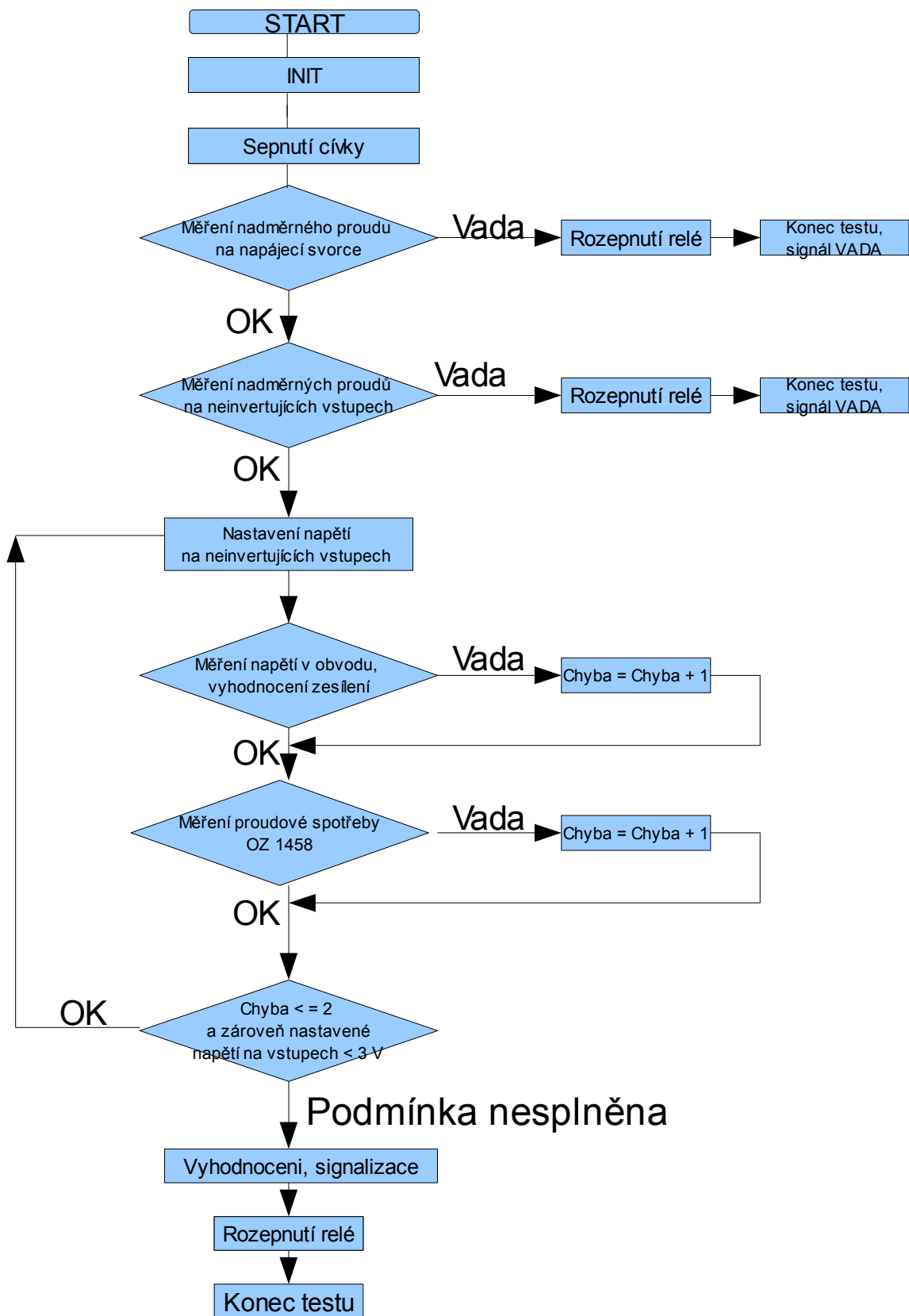
P 1.24 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled ze spodní strany – detail 1



P 1.25 : Výsledná DPS testeru OZ typu 1458, pohled ze spodní strany – detail 2



P 2 Vývojový diagram programu testeru OZ typu 1458



P 3 Zdrojový kód programu testeru OZ typu 1458 v jazyce C pro překladač CCS compiler

```
#include <16F887.h>

#fuses INTRC_IO, NOWDT, NOBROWNOUT, NOMCLR, NOFCMEN
#fuses NOPROTECT, NOIESO, NOCPD
#use delay (clock = 8000000)

//=====

int8 CHYBA = 0;          // pocet odhalenych CHYB v prubehu testovani
byte setting = 0x0b;     // informace o nastaveni - podle datasheetu - nastaveni stejneho voltage na obou DAC MAX 548A
byte voltage = 0x00;     // informace o napajeni MAX 548A
int8 ADCIn, ADCOut;      // promena pro ulozeni A/D hodnoty z prevodniku, default '0'
int8 kanal = 7;          // volba kanalu pro A/D - 6,13,8,12,11,7,10
float32 DecIn, DecOut = 0; // vysledek z prevodu A/D na decadicnou hodnotu
int1 VyhOz = 0;          // vysledek z mereni kdy se nastavi max, merim ho A/D a musim se vlezet do tolerance aby bylo 1, default '0'
float32 Inap, Ioz1, Ioz2, Izp1, Izp2, V, Icelkove; // namerene proudy (Inap - proud tekouci pres napajeci svorku OZ 1458), (Ioz1 - proud tekouci pres
neinvertujici vstup OZ pouzdro c.1), (Ioz2 - proud tekouci pres neinvertujici vstup OZ pouzdro c.2)

//=====

void funct_SPI(byte*setting, byte*voltage) // funkce nastavi SPI, vstup setting je nastaveni MAX548A, voltage nastavi hodnotu napeti D/A prevodniku
{
    setup_spi (SPI_MASTER | SPI_L_TO_H | SPI_XMIT_L_TO_H | SPI_CLK_DIV_4); //nastaveni SPI komunikace - PIC v roli Master, specifikace
    hodinoveho signalu pro poslani dat CKP = 0 CKE = 1, hodiny SPI jsou delene 16 od hodinoveho impulsu PIC = 8Mhz
    output_low(PIN_A1); // CS definice SPI prijimace do L (oznaceni)
    spi_write (*setting);
    spi_write (*voltage);
    output_high(PIN_A1); // CS definice SPI prijimace do H (neoznaceni)
}

//=====

int8 AD(int8 kanal) // vraci hodnotu z ad prevodniku, vstup je volba kanalu
{
    int8 ADnacteno = 0x00;
    setup_adc (ADC_CLOCK_INTERNAL); // nastaveni ADC hodin
    setup_adc_ports(sAN6|sAN13|sAN8|sAN12|sAN11|sAN7|sAN10|VSS_VDD); // nastaveni analogovych vstupu, nastaveni referencniho napeti
    set_adc_channel(kanal); // volba A/D vstupu pro cteni
    delay_us(100); //doporucene seckani po nastaveni zvoleneho kanalu
    ADnacteno = read_adc(7);
    return (ADnacteno);
}

//=====

float32 hex2dec(int8 vstup) //prevede hexadecimalni cislo na decimalni
{
    int8 i, prevadene;
    float32 prevedene;
    prevadene = vstup;
    i=0;
    while (prevadene > 9)
    {
        prevadene = prevadene - 9;
        i=i+1;
    }
    prevedene = (i*9) + prevadene;
```

```

return (prevedene);
}

//=====
int1 vyhodnoceni_zesileni(float32 DecIn,float32 DecOut) //porovna zda-li namerene a nastavene napeti jsou u urcite shode
{
float32 Vin,Vout;
int1 vyhod = 0; //false defaultne
Vin = 0;
Vout = 0;
Vin = 4.99*DecOut/256.0; //vycisljena hodnota nastaveného napeti MAX548A na vstupu neinv.vstupu - vystup zpetne vazby
Vout = 4.99*DecIn/256.0; //vycisljena hodnota ADC nacteného napeti ve zpetne vazbe
if (abs(Vin-Vout) <= 0.2) {vyhod = 1 ;}
return (vyhod);
}

//=====
float32 proud (int8 kanal,float32 odpor) //vraci namereny proud z kanalu 6,8,7 // vracena hodnota v mA
{
int8 ADc;
float32 ADp,I,V;
ADc = AD(kanal); // zmereni napeti na danem A/D - vystup z MAX4070
ADp = hex2dec(ADc); // zmerene A/D napeci v hex na A/D v dec
V = 4.99*ADp/256.0; //vycisljena hodnota ADC nacteného napeti
V = V - 2.5 ;
I = V/odpor*10.0; //hodnota v mA
return (I);
}

//=====
void funct_RELEOFF(void){ // RELE rozeznout
output_low(PIN_C7);
}

//=====
void funct_RELEON(void){ // RELE sepnout
output_high(PIN_C7);
}

//=====
void funct_OKON(void){ // LED OK zapnout
output_high(PIN_A5);
}

//=====
void funct_OKOFF(void){ // LED OK vypnout
output_low(PIN_A5);
}

//=====
void funct_VADAON(void){ // LED VADA zapnout
output_high(PIN_A4);
}

//=====
void funct_VADAOFF(void){ // LED VADA vypnout
output_low(PIN_A4);
}

```

```

//=====

//=====

void main()
{
    funct_SPI(&setting,&voltage); // nastaveni napeti na DAC MAX548A oba vystupy OV - operacni zesilovac ve spodni saturaci díky nesymetrickému
    napajeni
    funct_OKOFF(); // init LED OK
    funct_VADAOFF(); // init LED VADA
    funct_RELEOFF(); // odepnutí rele, aby v době initu nedošlo k prutoku možného 'nadměrného' proudu napájecí svorkou
    Inap = 0.0;
    Ioz1 = 0.0;
    Ioz2 = 0.0; // init naměřených proudů
    #asm // při volání 'konec' vstupuje uC do nekonečné smyčky
    konec :
    #endasm
    if (CHYBA >= 3) { // podmínka pro nekonečné cyklení uC odesláním na 'konec'
    #asm
    goto konec
    #endasm
    }
    funct_RELEON(); // po initu se sepnou rele a OZ 1458 začne protékat proud
    delay_ms(50);
    Inap = proud(6,0.6); // 1. TEST měření kritické hodnoty proudu na napájecí svorce OZ 1458, měřicí odpor má hodnotu 0.1 Ohm
    if ((Inap > 40.0) & (Inap < 2.0)) { // bude-li proud větší než 40 mA nebo ptečeli nulový proud napájecí svorkou, je OZ 1458 poškozen
        funct_RELEOFF(); // teče proud větší než je správně a je na místě rele odpojit a nenamáhát obvody
        funct_VADAON();
        CHYBA = 3; // signalizace VADA
        #asm // odeslání na 'konec' do nekonečné smyčky
        goto konec
        #endasm
    }

    Ioz1 = proud(8,1.0); // 2. TEST měření kritické hodnoty proudu na neinv.vstupu oz1 , adc kanál 13 s měřicím odporem 1 Ohm
    Ioz2 = proud(7,1.0); // 3. TEST měření kritické hodnoty proudu na neinv.vstupu oz2 , adc kanál 7 s měřicím odporem 1 Ohm

    if (abs(Ioz1) > 2.0) { // bude-li proud větší než 2 mA, je OZ poškozen
        funct_RELEOFF(); // teče proud větší než je správně a je na místě rele odpojit
        funct_VADAON(); // signalizace VADA
        CHYBA = 3;
        #asm // odeslání na 'konec' do nekonečné smyčky
        goto konec
        #endasm
    }

    if (abs(Ioz2) > 2.0) { // bude-li proud větší než 2 mA, je OZ poškozen
        funct_RELEOFF(); // teče proud větší než je správně a je na místě rele odpojit
        funct_VADAON(); // signalizace VADA
        CHYBA = 3;
        #asm // odeslání na 'konec' do nekonečné smyčky
        goto konec
        #endasm
    }
}

```



```

voltage = 0x70; // init voltage pred testovanim - pri napajeni 5V je 0x70 rovno 2V na vystupu DAC MAX 548A
do // cyklus s podminkou na KONCI, cyklus ukoncen, pokud podminka prestala platit. V cyklu pokud podminka je
platna. Toto je telo hlavniho testu, testuje se napeti po 0.2V
{
    funkt_SPI(&setting,&voltage); // nastaveni napeti na DAC MAX548A obou vystupu pro dany test. Napajeni 2-3 V po kroku + 0.2 V
    // oz1 test zesileni
    ADCIn = AD(13); // volani funkce - vstup je volba kanalu a vystup nactena hodnota z A/D prevodniku - cteni z neinv.vstupu oz1
    DecIn = hex2dec(ADCIn); // prevod na dekadicke - prevod namereneho hex ADCIn do dec DecIn - cteni z neinv.vstupu oz1
    ADCOut = AD(12); // volani funkce - vstup je volba kanalu a vystup nactena hodnota z A/D prevodniku - cteni ze zpetne vazby oz1
    DecOut = hex2dec(ADCOut); // prevod na dekadicke - prevod namereneho hex ADCOut do dec DecOut - cteni ze zpetne vazby oz1
    VyhOz = vyhodnoceni_zesileni(DecIn,DecOut); // vyhodnoceni vst. vys. oz1 , pokud napeti sedi v urc. intervalu, je rovno '1'
    if (VyhOz == 0) {CHYBA = CHYBA+1;} // spatne zesileni = pricteni chyby, pokud je zesileni OK, pak VyhOz je rovno '1' a nic se nepricita
    VyhOz = 0;
    V = 4.99*DecOut/256.0; // vycislena hodnota ADC nacteneho napeti na inv.vstupu - zp.vazba oz1
    Izp1 = V/220.0*1000.0; // hodnota v mA ve zp vazbe oz1

    // oz2 test zesileni
    ADCIn = AD(11); // volani funkce - vstup je volba kanalu a vystup nactena hodnota z A/D prevodniku - cteni z neinv.vstupu oz2
    DecIn = hex2dec(ADCIn); // prevod na dekadicke - prevod namereneho hex ADCIn do dec DecIn - cteni z neinv.vstupu oz2
    ADCOut = AD(10); // volani funkce - vstup je volba kanalu a vystup nactena hodnota z A/D prevodniku - cteni ze zpetne vazby oz2
    DecOut = hex2dec(ADCOut); // prevod na dekadicke - prevod namereneho hex ADCOut do dec DecOut - cteni ze zpetne vazby oz2
    VyhOz = vyhodnoceni_zesileni(DecIn,DecOut); // vyhodnoceni vst. vys. oz2 , pokud napeti sedi v urc. intervalu, je rovno '1'
    if (VyhOz == 0) {CHYBA = CHYBA+1;} // spatne zesileni = pricteni chyby, pokud je zesileni OK, pak VyhOz je rovno '1' a nic se nepricita
    VyhOz = 0;
    V = 4.99*DecOut/256.0; // vycislena hodnota ADC nacteneho napeti na inv.vstupu - zp.vazba oz2
    Izp1 = V/220.0*1000.0; // hodnota v mA ve zp vazbe oz2

    // test proudu
    Inap = proud(6,0.6); // mereni proudu napajeci svorky

    Icelkove = Inap - Izp1 - Izp2 - 6.0; // dochazi k odedceni proudu z napajeci svorky,obou zpetnych vazeb a vlastni spotreby oz 1458
    if (Icelkove > 3.0) {CHYBA = CHYBA+1;} // do OZ 1458 se proud nedostane jinou cestou nez z napajeci svorky. oteka z nej pouze pres zpetne
vazby a ztratu pro nastaveni pracovnich bodu, teoreticky by melo po odedceni vseh proudu vyjit Icelkove = 0. Ohled na chybu mereni
    voltage = voltage + 0x10; // nastaveni nove velikosti vstupniho napeti o 0,2 V
}
while ((CHYBA <= 2) & (voltage < 0xA1)); // hlavni telo testu pracuje, dokud pocet nalezenych chyb je mene nebo rovno 2 (povoleny 2 chyby)
a zaroven nastavene napeti na DAC 548A je mensi nez 3V (napajeni 3V zn. 0x9A )

if (CHYBA <= 2) {funkt_OKON();} // vyhodnoceni testu - povolene 2 chyby pro LED OK
else {funkt_VADAON();funkt_RELEOFF();} // vice jak 2 chyby pro LED VADA

CHYBA = 3; // neni treba po ukonceni testu dale napajet oz 1458, dojde k rozeptnuti sepnuteho rele
#asm // odeslani na 'konec' do nekonecne smycky
goto konec
#endasm
} // konec void main – hlavni program

```

P 4 Seznam použitých součástek

Počet	Součástka	Pouzdro
1x	MAX548A	uMAX8
3x	MAX4070	uMAX8
1x	LED červená	1206
2x	LED zelená	1206
2x	5 mm	ZDÍŘKA
2x	R 1 1%	1206
1x	R 0,5 1%	1206
4x	R 220 1%	1206
3x	R 430 1%	1206
1x	R 910 1%	1206
1x	R 3K3 1%	1206
2x	C 100n	1206
1x	SOKL 8	Patice pro OZ
1x	AW122/20	Lámací lišta pro ICSP
1x	PIC16F887	TQFP - 44
1x	DTS 21N	TLACITKO
1x	7805	DPAK SMD
1x	RELS1A05D00	Releový spínač
1x	BSS83P	SOT23
4x	DA5M3X15	Distanční sloupek